

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



EVALUACIÓN DE IMPULSIVIDAD CON MICROSOFT KINECT

GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
AUDIOVISUALES

Trabajo de Fin de Grado

Autor: Carlos Carmona Vázquez

Tutor: David Delgado Gómez

Título: Evaluación de impulsividad con Microsoft Kinect

Autor: Carlos Carmona Vázquez

Tutor: David Delgado Gómez

EL TRIBUNAL

Presidenta: Iria Manuela Estévez Ayres

Vocal: Almudena Lindoso Muñoz

Secretario: Víctor Elvira Arregui

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 3 de Octubre de 2013 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

PRESIDENTA

SECRETARIO

A mis padres, Francisco y Pilar.

A mi hermana, Elena.

A toda mi familia y amigos de Mallorca que tanto me han apoyado.

A mi segunda familia en Madrid.

A mis compañeros de clase, en especial Marcos y Jesús, compañeros y grandes amigos.

A mi tutor, David, por su apoyo, confianza y ayuda durante el transcurso de este proyecto.

Gracias

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es minimizar uno de los principales problemas actuales en los campos de la psicología clínica y la psiquiatría: la carencia de medidas objetivas que caractericen el estado del paciente. Esto produce que, a veces, se necesiten varias visitas hasta que el paciente reciba el diagnóstico correcto (y por tanto, el tratamiento adecuado) e impide valorar adecuadamente la evolución de la enfermedad y la efectividad de los fármacos.

En este Trabajo de Fin de Grado, se desarrolla un nuevo sistema de medición de impulsividad utilizando el dispositivo Microsoft Kinect. La impulsividad es un índice utilizado frecuentemente en el diagnóstico de enfermedades mentales como son el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad, la conducta suicida, o el abuso y adicción a sustancias estupefacientes. Con el objetivo de desarrollar este sistema, se analizaron, primeramente, las distintas maneras de medir este constructo. De este estudio, se obtuvo que el CPT-II de Conners y el Test Of Variables of Attention (T.O.V.A) eran las pruebas más utilizadas. En estas dos pruebas, el individuo debe presionar la barra espaciadora del teclado ante determinados estímulos que se le presentan en una pantalla e inhibir dicha acción ante otros estímulos.

Estos dos tests computarizados presentan varias limitaciones. Entre ellas, se encuentra que muchas acciones y comportamientos del individuo durante la prueba no quedan registrados y por lo tanto, no son utilizados en los análisis. Por ejemplo, en muchas ocasiones los sujetos inician la acción de pulsar la barra espaciadora ante un estímulo inhibitorio, pero antes de llegar a pulsarla se dan cuenta del tipo de estímulo que es y detienen la acción. Con el objetivo de registrar este tipo de comportamientos, en este proyecto se considera la posibilidad de captar el movimiento del sujeto mientras realiza la prueba.

Para incorporar la captura de movimiento en las pruebas de impulsividad, se estudiaron las diferentes técnicas existentes. De este análisis, se escogió la cámara Microsoft Kinect para la realización del proyecto debido a: 1) que permite la captura de movimiento de manera no intrusiva, y 2) su bajo coste que permitiría su implantación en un entorno tanto clínico como doméstico.

El sistema desarrollado implementa los tests CPT-II y T.O.V.A utilizando la cámara Kinect como dispositivo de entrada: en lugar de presionar la barra espaciadora, el sujeto levanta su mano dominante. De esta forma, permite registrar el comportamiento del individuo durante todo el desarrollo de la prueba, solucionando los problemas descritos anteriormente.

Con el objetivo de evaluar el sistema, se realizó un experimento a 22 personas. Estas personas realizaron el CPT-II tanto en su versión clásica como en la desarrollada en este proyecto. Los resultados del análisis del experimento mostraron que el nuevo sistema de medición es capaz de mejorar ciertas medidas existentes, sin empeorar el resto.

ABSTRACT

The aim of this Bachelor Thesis is to mitigate one of the main problems in clinical psychology and psychiatry: the absence of objective measures that characterize the patient's mental condition. It implies the need of several appointments in order to make a correct diagnosis to the patient (and therefore, a correct treatment) and the inability to properly assess the disease's evolution and the effectiveness of drugs.

In this Bachelor Thesis, a new impulsiveness measuring system using Microsoft Kinect device is developed. Impulsiveness is a marker frequently used on the assessment of mental diseases such as Attention Deficit Hyperactivity Disorder, suicidal behavior, or abuse and addiction to narcotics. The different existing methods that measure this construct were studied in order to develop the new system. From this study, it was found that the Conners' CPT-II and the Test Of Variables of Attention (T.O.V.A) were the most commonly used tests. In these two computerized tests, the individual should press the spacebar each time certain stimuli are shown on a screen, but he should inhibit that action when other stimuli are presented.

These two tests present some limitations. Among them, it can be found that several individual actions and behaviors are not registered during the test, and therefore not considered in the later analysis. For example, the situation in which an individual begins the action of pressing the spacebar, but he cancels that action when he realizes about the type of stimulus being presented. This project considers the motion capture of the subject while he is performing the test, with the aim of registering such behaviors.

After studying the different existing techniques on motion capture, Microsoft Kinect was chosen for this project due to: 1) it allows a non-intrusive motion capture, and 2) its low cost allows its implantation on both clinical and domestic environments.

The developed system implements both tests, CPT-II and T.O.V.A using Microsoft Kinect as input device: the subjects react to stimuli by raising their dominant hand instead of pressing keyboard's spacebar. Tracking the dominant hand allows to detect the actions where the subject starts the action but backs-up before hitting the spacebar, solving the problem previously defined.

An experiment with 22 people was made in order to assess the new system. The individuals performed the CPT-II on both the classical version and the new one. The results from the experiment analysis showed that the new measuring system is capable of improving certain measures, without worsening the others.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
1.1. Objetivos y fases de desarrollo	10
1.2. Estructura de la memoria	11
CAPÍTULO 2. IMPULSIVIDAD	13
2.1. Definición de impulsividad	13
2.2. Impulsividad y enfermedades mentales.....	14
2.2.1. Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH)	14
2.2.2. Conducta suicida	15
2.2.3. Abuso de drogas	16
2.3. Medición de impulsividad (Estado del arte)	17
2.3.1. Cuestionarios de impulsividad	17
2.3.2. Encefalografía relacionada a eventos	18
2.3.3. Medidas de comportamiento en laboratorio	18
2.3.3.1. Medidas de impulsividad cognitiva	19
2.3.3.2. Medidas de impulsividad motora.....	22
CAPÍTULO 3. CAPTURA DE MOVIMIENTO.....	23
3.1. Estado del arte en captura de movimiento.....	24
3.1.1. Métodos intrusivos [29], [30]	24
3.1.2. Métodos no intrusivos	24
3.2. Microsoft Kinect.....	28
3.2.1. Historia [34]	28
3.2.2. Componentes [34] , [37]	32
3.2.3. Librerías	34
3.2.3.1. Libfreenect [39]	34
3.2.3.2. OpenNI [40], [41].....	34
3.2.3.3. Kinect SDK [42]	35
3.2.3.4. Comparación entre Kinect SDK y OpenNI.....	36
3.2.4. Aplicaciones desarrolladas con Kinect	37
Capítulo 4. Diseño del experimento y resultados.....	39
4.1. CPT-II y T.O.V.A.....	39
4.2. Escala de impulsividad de Barratt (BIS-11)	41
4.3. Diseño de la aplicación.....	43
4.3.1. Estructura general.....	43

4.3.2.	Registro de datos	44
4.3.2.1.	Datos sociodemográficos	44
4.3.2.2.	Respuestas al BIS-11.....	45
4.3.3.	Implementación de los tests.....	45
4.3.3.1.	Generación de la secuencia de estímulos	45
4.3.3.2.	Versiones con teclado	47
4.3.3.3.	Versiones con Kinect	48
4.4.	Escenario y diseño del experimento.....	50
4.5.	Resultados y análisis	51
4.5.1.	Análisis cuestionario	52
4.5.2.	Análisis Teclado.....	52
4.5.3.	Análisis Kinect	53
4.5.3.1.	Tiempo de reacción	53
4.5.3.2.	Errores de comisión.....	55
4.5.4.	Resultados.....	57
	Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros.....	63
	Referencias	67
	Anexo I. Planificación del trabajo	71
	Anexo II. Presupuesto del proyecto.....	75
	Anexo III. Código Matlab para el análisis	77
	Anexo IV. Consentimiento informado	81
	Anexo V. Artículo Kinectizing Conner's CPT	83

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EFECTOS DEL TDAH A LO LARGO DE LA VIDA DE UN INDIVIDUO. [8]	15
FIGURA 2. INCAUTACIONES DE DROGA EN EUROPA EN EL AÑO 2011. [19]	16
FIGURA 3. PORTEUS MAZE TEST [25].....	19
FIGURA 4. MATCHING FAMILIAR FIGURES TEST [26]	20
FIGURA 5. WISCONSIN CARD SORTING TASK [6].....	20
FIGURA 6. IOWA GAMBLING TASK [6]	21
FIGURA 7. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA CÁMARA PLENÓPTICA [32]	25
FIGURA 8. PROYECTO "PUT-THAT-THERE". [36]	29
FIGURA 9. DIVISIÓN EL CUERPO EN PARTES. [35]	30
FIGURA 10. COMPONENTES KINECT	32
FIGURA 11. FUNCIONAMIENTO DISPOSITIVO KINECT [39]	33
FIGURA 12. ARQUITECTURA OPENNI [42].....	35
FIGURA 13. ARQUITECTURA DEL KINECT SDK DE MICROSOFT [44]	35
FIGURA 14. ESTÍMULOS T.O.V.A [6]	40
FIGURA 15. ARQUITECTURA APLICACIÓN DISEÑADA.....	43
FIGURA 16. VENTANA PRINCIPAL EVALUACIÓN KINECT	43
FIGURA 17. VENTANA DE ACCESO A TESTS	44
FIGURA 18. REGISTRO DE USUARIOS.....	44
FIGURA 19. FORMULARIO BARRATT	45
FIGURA 20. INSTRUCCIONES CPT-II CON TECLADO.....	47
FIGURA 21. INSTRUCCIONES T.O.V.A CON TECLADO	48
FIGURA 22. EJEMPLO DE LA APLICACIÓN CPT-II DESARROLLADA CON KINECT	49
FIGURA 23. CALIBRACIÓN	49
FIGURA 24. ESCENARIO DEL EXPERIMENTO	50
FIGURA 25. (A) TRAYECTORIA DE LA MANO DEL SUJETO, (B) AJUSTE AUTOMÁTICO A "MESETA" DE LA TRAYECTORIA DE LA MANO DEL SUJETO.....	53
FIGURA 26. VALORES DEL ÍNDICE DE ALZAMIENTO DE LA MANO	55
FIGURA 27. MEZCLA DE GAUSSIANNAS	56
FIGURA 28. TRAYECTORIA DE LA MANO DE UN SUJETO DURANTE 15 ESTÍMULOS CONSECUTIVOS DE EL TEST CPT-II, VERSIÓN KINECT	57
FIGURA 29. TRAYECTORIA DE LA MANO REGISTRADA CON KINECT EN TODOS LOS ESTÍMULOS 'X' DE DOS SUJETOS. (A) PARTICIPANTE CON BAJA PUNTUACIÓN EN EL BIS-11. (B) PARTICIPANTE CON ALTA PUNTUACIÓN EN EL BIS-11	59
FIGURA 30. ÍNDICES DE ALZAMIENTO DE LA MANO PARA TODOS LOS ESTÍMULOS 'X' REALIZADOS POR DOS SUJETOS. (A) SUJETO CON BAJA PUNTUACIÓN EN EL BIS-11, (B) SUJETO CON ALTA PUNTUACIÓN EN EL BIS-11	60
FIGURA 31. DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO.....	72
FIGURA 32. DIAGRAMA DE GANTT DE FASES DESGLOSADAS	72

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DIFERENCIAS ENTRE LIBFREENECT, OPENNI Y MICROSOFT KINECT SDK [37]	37
TABLA 2. DIFERENCIAS ENTRE CPT-II Y T.O.V.A	41
TABLA 3. CUESTIONARIO DE IMPULSIVIDAD DE BARRATT	42
TABLA 4. SECUENCIA 1 CONNERS' CPT-II	46
TABLA 5. SECUENCIA 2 CONNERS' CPT-II	46
TABLA 6. CORRELACIONES ENTRE LAS COMISIONES DE AMBAS VERSIONES DEL TEST Y ENTRE LAS COMISIONES CADA UNO DE LOS TESTS CON EL CUESTIONARIO	61
TABLA 7. CORRELACIONES ENTRE EL TIEMPO MEDIO DE RESPUESTA DE AMBAS VERSIONES DEL TEST Y ENTRE EL TIEMPO MEDIO DE RESPUESTA DE CADA UNO DE LOS TESTS CON EL CUESTIONARIO.....	61
TABLA 8. COSTE TEMPORAL DEL PROYECTO.....	73
TABLA 9. COSTE DEL MATERIAL HARDWARE	75
TABLA 10. COSTE DEL MATERIAL SOFTWARE	75
TABLA 11. COSTE DE PERSONAL.....	76
TABLA 12. COSTES TOTALES DEL PROYECTO	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. PROFUNDIDAD DE UN PUNTO UTILIZANDO SENSORES DE TOF-PM [34].....	27
ECUACIÓN 2. LUZ INFRARROJA TRANSMITIDA EN TOF - CWM [34]	27
ECUACIÓN 3. ECUACIÓN DE LA ONDA REFLEJADA [34]	28
ECUACIÓN 4. PROFUNDIDAD DE UN PUNTO EN CÁMARAS TOF-CWM [34].....	28
ECUACIÓN 5. PUNTACIÓN DEL CUESTIONARIO DE IMPULSIVIDAD DE BARRATT (BIS-11).....	52
ECUACIÓN 6. INHIBICIONES DE UN SUJETO EN EL CPT-II CON TECLADO.....	52
ECUACIÓN 7. VECTOR DE APARICIÓN DEL ESTÍMULO X.....	52
ECUACIÓN 8. NÚMERO TOTAL DE COMISIONES EN CPT-II REALIZADO CON TECLADO	53
ECUACIÓN 9. FUNCIÓN DE AJUSTE A 5 RECTAS.....	54
ECUACIÓN 10. FUNCIÓN OBJETIVO.....	54
ECUACIÓN 11. RESTRICCIONES DE LA OPTIMIZACIÓN	54
ECUACIÓN 12. ÍNDICE DE ALZAMIENTO DE LA MANO EN CPT-II CON KINECT	55
ECUACIÓN 13. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN MEZCLA DE GAUSSIANS.....	56
ECUACIÓN 14. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE UNA DISTRIBUCIÓN GAUSSIANA.....	56

Capítulo 1.

Introducción y objetivos

A diferencia de las patologías fisiológicas que pueden ser diagnosticadas utilizando tests biológicos, el diagnóstico de las patologías mentales es, en cierta medida, subjetivo. Los profesionales en psicopatologías basan su diagnóstico clínico mayoritariamente en su experiencia, conocimiento y habilidades analíticas [1]. Esta subjetividad produce discrepancias entre los profesionales clínicos de manera que el paciente puede sufrir variaciones en su diagnóstico a lo largo de su historia clínica. Como consecuencia: 1) se puede retrasar el inicio del tratamiento adecuado, 2) se dificulta el seguimiento de la evolución de las enfermedades mentales, y 3) los estudios sobre las bases biológicas de los trastornos mentales no obtienen resultados válidos.

La dificultad en el diagnóstico de las psicopatologías ha derivado en numerosos estudios que intentan proporcionar medidas objetivas de diferentes aspectos presentes en las enfermedades mentales. Los profesionales clínicos utilizan mayoritariamente cuestionarios de evaluación con el objetivo de obtener información de dichos aspectos. Sin embargo, estos cuestionarios, rellenos por el paciente, poseen debilidades importantes entre las que se encuentra la veracidad de los mismos. Un cuestionario relleno por un paciente con una enfermedad mental no siempre es veraz, ya que puede estar falseando sus respuestas. Por ejemplo, los pacientes hospitalizados por riesgo de suicidio tienden a elegir respuestas que muestren una mejoría de su estado para salir del internamiento y consumir el acto [2].

A lo largo de las últimas décadas, se han desarrollado otros instrumentos para obtener predictores fiables de la conducta. Estos instrumentos son las denominadas medidas de comportamiento en laboratorio y tratan de obtener valores objetivos del comportamiento del individuo, en un entorno controlado, que permitan caracterizar una o varias características patológicas. Un buen ejemplo es el Conner's Continuous Performance Test (CPT). Este simple test computarizado consiste en presionar una tecla cada vez que aparece una letra en pantalla excepto si aparece una letra o serie

de letras predeterminadas. En ese momento, el sujeto tiene que inhibir la acción. El CPT permite obtener variables explicativas como los tiempos de reacción o el número de errores de comisión u omisión. El tiempo medio de respuesta al CPT está relacionado, entre otros, con el diagnóstico de TDAH [3] y con el riesgo de conductas suicidas en adolescentes [4].

Dado que las medidas de comportamiento en laboratorio pretenden definir cuál es la conducta del individuo, sería interesante captar el movimiento del mismo mientras realiza las pruebas, ya que podría aportar más información de la que actualmente se obtiene con estos tests. El dispositivo de bajo coste Microsoft Kinect no sólo obtiene imágenes RGB, sino que también proporciona una imagen de profundidad que, utilizando un software de desarrollo gratuito, permite la segmentación del cuerpo del individuo en tiempo real, proporcionando la posición de las diferentes partes del mismo.

La motivación de este proyecto surge como búsqueda de la mejora en la caracterización de uno de los aspectos presentes en la conducta del individuo y que constituye uno de los criterios diagnósticos más presente en el Diagnostic and Statistical Manual for Mental Disorders (DSM-IV) [5]: la impulsividad.

1.1. Objetivos y fases de desarrollo

El objetivo principal de este proyecto consiste en el desarrollo de una batería de tests de impulsividad utilizando los movimientos del usuario como dispositivo de entrada, lo que permitirá obtener nuevas variables comportamentales que permitan caracterizar mejor la impulsividad relacionada con trastornos mentales y, por lo tanto, facilitar el diagnóstico y aumentar las posibilidades de realizar un tratamiento precoz.

Los tests a desarrollar consisten en la adaptación de tests computarizados clásicos obtenidos de [6]. Estos tests utilizan como dispositivo de entrada el teclado, que será sustituido por el reconocimiento de gestos mediante Kinect.

El proyecto constituye un estudio previo de validación de la metodología empleada que podría derivar a otro de mayor relevancia que utilizaría dicha metodología para la caracterización completa de pacientes con TDAH y de pacientes con conducta suicida.

Para la consecución de los objetivos descritos se ha dividido el proyecto en diferentes fases de desarrollo que se encuentran completamente desglosadas en el Anexo I. El presupuesto desglosado y total del proyecto se encuentra en el Anexo II Entre las distintas fases de desarrollo se encuentran las siguientes:

- Desarrollo de los test: es la primera fase del proyecto en la que se desarrollarán utilizando el lenguaje de programación C#. Se utiliza Microsoft Visual Studio como entorno de desarrollo integrado.
- Experimento: consiste en la obtención de datos realizando los diferentes tests a una muestra de estudiantes de la Universidad Carlos III de Madrid.

- Análisis y comparación de los resultados: esta es la última fase y consiste en el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la fase anterior. Para que los test puedan ser utilizados de manera clínica, es necesario validarlos, es decir, demostrar su fiabilidad. Además se demostrará la hipótesis de que se obtienen más datos que de la manera clásica. Esta parte del proyecto se desarrollará utilizando Matlab.

1.2. Estructura de la memoria

En el capítulo 2 del proyecto, se presenta una breve descripción de impulsividad, comenzando por su definición, su relación con algunas patologías mentales y finalmente, las diferentes maneras utilizadas en la actualidad para medirla, que constituyen el estado del arte en medición de impulsividad.

El capítulo 3 se centra en las técnicas empleadas en la actualidad para la captura de movimiento de un individuo y, fundamentalmente, en Microsoft Kinect. Se realiza una clasificación de dichas técnicas poniendo especial atención en los métodos no intrusivos, que no incorporan marcadores en el participante para la obtención de la posición de las distintas partes de su cuerpo. Posteriormente, se hace una descripción detallada de Microsoft Kinect. Comienza realizando un recorrido por la historia que lleva detrás este dispositivo para enfatizar la cantidad de desarrollos hardware y software necesarios para su nacimiento. Tras ello, se exponen sus diversos componentes con el objetivo de mostrar las prestaciones que puede ofrecernos este dispositivo. Después de este análisis hardware, se realiza una descripción de diferentes librerías software para analizar sus diferencias y utilizar la que mejores prestaciones de. Finalmente se hace una breve descripción de la nueva versión de Kinect que estará disponible para verano de 2014.

En el capítulo 4 se expone el procedimiento utilizado para el desarrollo de este proyecto, comenzando por la descripción del desarrollo software. Tras esto, se describe el escenario utilizado para la obtención de muestras. Finalmente, el capítulo concluye con un análisis de los datos y sus resultados.

El capítulo 5 presenta las conclusiones extraídas de la investigación analizando los límites de la misma. También se realiza una descripción del posible trabajo futuro a realizar.

CAPÍTULO 2. IMPULSIVIDAD

Informalmente, la impulsividad se puede definir como un comportamiento llevado a cabo sin la suficiente reflexión [7], es decir, la tendencia a actuar con poca o ninguna premeditación o consideración de las consecuencias negativas que el acto pueda tener. Si bien el comportamiento impulsivo no es siempre malo, ya que existen ocasiones en las que es ventajoso responder de manera rápida, este comportamiento puede ser síntoma del padecimiento de alguna enfermedad mental. Por ejemplo, se encuentra presente en varias enfermedades mentales. Entre estas, se encuentran el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad [8], el abuso y la adicción a sustancias estupefacientes [9], el comportamiento antisocial o la conducta suicida [4].

En este capítulo, se tratan diversos aspectos relacionados con la impulsividad. En la sección 2.1 se aporta una posible definición de impulsividad, prestando especial atención a su naturaleza multifactorial. Tras esto, la sección 2.2 expone la relación de la impulsividad con diferentes patologías mentales. Finalmente, en la sección 2.3, se muestran los métodos utilizados más frecuentemente para su medición.

2.1. Definición de impulsividad

La definición de impulsividad ha sido un tema muy discutido entre los académicos e investigadores ya que no constituye un único constructo¹, sino que es un constructo multifacético. Esto hace que se puedan encontrar diferentes definiciones en la literatura científica. En un intento por encontrar una definición completa Moeller et al. en [10] hacen una revisión de las diferentes definiciones que se le ha dado a la palabra impulsividad concluyendo que contiene los siguientes aspectos:

¹ Constructo: Construcción teórica que se desarrolla para resolver un cierto problema científico.

- Rapidez de respuesta y falta de planificación.
- Poca sensibilidad a las consecuencias negativas del comportamiento.
- Reacciones rápidas y no planificadas a estímulos (internos o externos) antes de completar el procesamiento de la información.
- Falta de previsión de las consecuencias a largo plazo.
- A menudo, tiene un impacto tanto en el individuo impulsivo como en los demás.

Aunando los aspectos anteriores, Moeller et al. definen la impulsividad como “la predisposición hacia reacciones rápidas y no planificadas a estímulos internos o externos sin consideración de las consecuencias negativas de estas acciones en el propio individuo o en otros”.

2.2. Impulsividad y enfermedades mentales

La impulsividad, por sí sola, no es constituyente de ninguna psicopatología. Sin embargo, la combinación de impulsividad y ciertos rasgos (e.g. agresividad, depresión, o ansiedad) indica la posible presencia de algún trastorno psicológico.

Los profesionales disponen de diferentes manuales, que les indican cuáles son los rasgos más habituales para cada una de las enfermedades mentales clasificadas. Los dos manuales más utilizados en la actualidad son el DSM (Diagnostic and Statistic Manual of Mental Disorders) y el ICD (International Classification of Diseases), en sus versiones IV y 10, respectivamente. A continuación son brevemente descritos tres trastornos mentales recogidos en estos manuales en los que la impulsividad constituye uno de sus rasgos distintivos: el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad, el abuso de sustancias estupefacientes y su adicción, y la conducta suicida.

2.2.1. Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH)

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad es un desorden crónico que puede afectar a muchos aspectos de la vida cotidiana del individuo que lo padece. Las características principales de este trastorno son tres: déficit de atención, altos niveles de actividad (hiperactividad) e impulsividad.

El TDAH constituye el trastorno mental más frecuente en la población infantil con una presencia del 2-10% [11]. Según datos del centro de control y prevención de enfermedades (Centers for disease Control and Prevention), aproximadamente el 11% de los niños de entre 4 y 17 años (6.4 millones) de Estados Unidos fueron diagnosticados de TDAH en 2011 [12]. Además, según la Federación Española de Ayuda al Déficit de Atención e Hiperactividad, este trastorno constituye el 50% de la población clínica infanto-juvenil. La gravedad de este trastorno es mayor debido a que continúa en la edad adulta en el 30-60% de los casos [8].

Los síntomas y problemas derivados de este desorden varían con la edad. Durante la infancia, el niño con TDAH sufre fracaso escolar, rechazo por parte de sus compañeros y tiene baja autoestima. Además, puede llegar a ser la causa de problemas matrimoniales y familiares que agravarían la conducta del niño.

En la adolescencia se reduce la hiperactividad, aunque la inatención y la impulsividad se mantienen. En esta etapa, los sujetos que padecen de TDAH pueden desarrollar comportamientos excesivamente agresivos y antisociales, se encuentran en alto riesgo de fracaso escolar y pueden mostrar conductas criminales y abuso de drogas.

En la edad adulta, los pacientes con TDAH pueden tener graves problemas tanto profesionales como personales. En el trabajo, suelen presentar falta de atención, absentismo, errores excesivos y comportamiento antisocial, que les puede llevar al fracaso laboral. En el terreno personal, tienen frecuentemente dificultades en las relaciones de pareja.

En la Figura 1 se puede observar la evolución de los posibles efectos que puede tener el TDAH en la vida de un individuo.

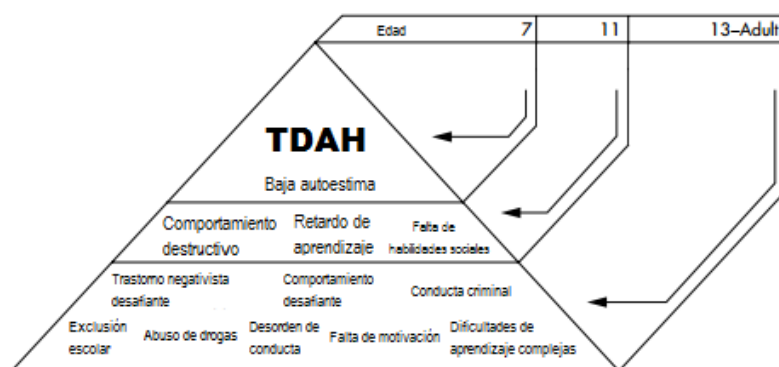


Figura 1. Efectos del TDAH a lo largo de la vida de un individuo. [8]

2.2.2. Conducta suicida

La conducta suicida es un comportamiento autodestructivo que está presente en muchas patologías mentales. La predicción de comportamientos suicidas se puede realizar prestando atención a tres grupos de síntomas: 1) anhedonia² y desesperanza; 2) ansiedad, pánico y agitación; y 3) impulsividad y agresión [13]. Esto sitúa a la impulsividad como un factor importante a medir y posiblemente a tratar en personas que padecen de conducta suicida.

Resulta evidente pensar que la impulsividad puede marcar la diferencia entre la ideación suicida y el paso a la acción. Esta hipótesis ha sido confirmada en multitud de estudios:

- Brodsky *et al.* en [14] encontraron que el rasgo de impulsividad en personas con Trastorno de la Personalidad Límite (TPL) está asociado con el número de veces que han intentado suicidarse.
- En [15] se puede observar que tanto la ideación como el intento suicida están ligados a la impulsividad. Además, tienen en cuenta la naturaleza multifacética del constructo para observar las diferencias existentes entre los aspectos que lo conforman para conocer la

²Anhedonia: incapacidad para experimentar placer, la pérdida de interés o satisfacción en casi todas las actividades

faceta de impulsividad que diferencia la ideación suicida del intento suicida. Se concluye que la urgencia negativa³ y la baja premeditación podrían ser dichas características.

- La impulsividad en personas alcohólicas puede ser un factor predictivo de suicidio. En la sección 2.2.3 veremos que, además, la impulsividad (junto con otros rasgos) puede llevar al abuso de drogas, tanto legales como ilegales. [16]

Por lo tanto, la impulsividad juega un papel muy importante en el trastorno de la conducta suicida y debe ser medida y posiblemente tratada, para evitar la consumación del acto.

2.2.3. Abuso de drogas

La impulsividad es un rasgo que también se encuentra presente en las personas que realizan uso o abuso de drogas. Si bien se necesita de una planificación para llevar a cabo tanto su adquisición como su uso, característica no presente en el individuo impulsivo, el uso y abuso de drogas está relacionado con la naturaleza multifactorial de la impulsividad.

Así, dos aspectos de impulsividad se pueden relacionar con el abuso de drogas [9]: la elección impulsiva, que puede ser una motivación para obtener y usar las sustancias, y la acción impulsiva, que sería la impulsividad espontánea en el momento de introducirla al organismo. Además, los individuos con alta impulsividad suelen tener baja percepción del riesgo [17], y estas dos características, conjuntamente, pueden facilitar el llevar a cabo un comportamiento arriesgado. En [18] asocian directamente el aspecto de impulsividad definido en el cuestionario UPPS como urgencia negativa con el uso de sustancias.

El abuso de drogas lícitas o ilícitas es un problema presente en nuestra sociedad que se puede ver reflejado en la Figura 2. En esta figura aparece España como el país en el que más incautaciones de drogas se realizaron de la Unión Europea en el año 2011 [19]. Es por ello que el consumo de drogas es un problema que requiere cierta atención, especialmente en nuestro país.

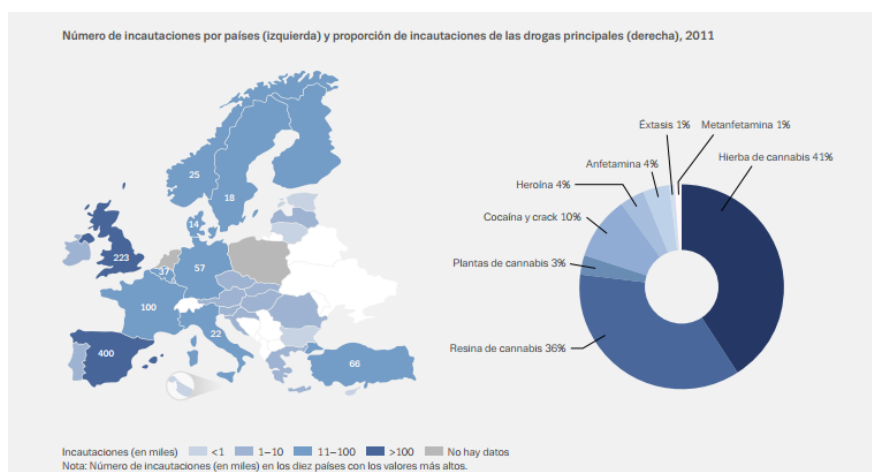


Figura 2. Incautaciones de droga en Europa en el año 2011. [19]

³ Urgencia negativa: Asociado a impulsividad en el momento en el que un individuo se siente triste, angustioso, con miedo y otras emociones negativas.

2.3. Medición de impulsividad (Estado del arte)

Una vez vista la gran cantidad de problemas individuales y sociales que puede conllevar el individuo impulsivo, resulta obvio que la impulsividad es un aspecto del que debe ser medido y evaluado de la manera más objetiva posible.

Dada la característica multifacética de la impulsividad resulta difícil obtener una única medida de la misma. Es más, es necesario obtener diferentes medidas de cada aspecto para poder caracterizar de manera completa el comportamiento impulsivo. Por ello, existen actualmente una gran variedad de instrumentos que miden uno o varios aspectos del constructo.

Así, la medición de impulsividad se basa en medir aspectos clave de la misma. Para ello, generalmente se utilizan tres tipos de instrumentos [10]:

- Los cuestionarios.
- Las medidas de comportamiento en laboratorio.
- La electroencefalografía relacionada a eventos.

Ninguno de estos instrumentos puede ser utilizado como único medidor, ya que no se estaría definiendo completamente el comportamiento impulsivo del individuo. Para caracterizar dicho comportamiento de manera completa, los profesionales utilizan combinaciones de los tres instrumentos, descritos a continuación, que permiten definir las diferentes facetas del constructo de impulsividad que están presentes en el individuo en cuestión.

2.3.1. Cuestionarios de impulsividad

Los cuestionarios de impulsividad consisten en auto-informes que el paciente debe rellenar. Se componen de numerosos ítems asociados cada uno, o un subconjunto de los mismos, a una faceta del constructo. Cada ítem del cuestionario será una pregunta, afirmación o negación del tipo “Planifico mis tareas con cuidado” a la que la persona deberá responder mediante una escala de tipo Likert⁴. La medición de impulsividad se obtiene de la puntuación total obtenida en alguno de los cuestionarios. Además, se puede ahondar en cada una de sus facetas y obtener puntuaciones específicas para cada aspecto de la impulsividad.

Este tipo de medición permite obtener medidas de diferentes aspectos de la impulsividad. Sin embargo, tienen la desventaja de que no pueden ser utilizados de manera repetida, de manera que se limita su utilización en el seguimiento del paciente. [10]. Además, se presupone que la persona que realiza el cuestionario va a contestar de manera sincera, lo que no siempre es cierto. Como ejemplos podemos encontrar la Escala de Impulsividad de Barratt, el Cuestionario de Impulsividad de Eysenck, o la Escala de comportamiento impulsivo UPPS(Urgencia, planificación, perseverancia y sensaciones).

⁴ Escala Likert: Escala ordinal que se caracteriza por ubicar una serie de frases seleccionadas en una escala con grados de acuerdo/desacuerdo, siempre/nunca, etc.

- The Impulsiveness Questionnaire (I7)
Este cuestionario contiene 63 ítems cuyos aspectos a analizar son: impulsividad, riesgo y empatía.
- The Barratt Impulsiveness Scale (BIS-11)
Este cuestionario contiene 30 ítems donde las diferentes facetas a analizar son: la cognitiva, la motora, y la no planeada. Dentro de cada una de estas facetas hay una subdivisión. La faceta atencional se divide en atención e inestabilidad cognitiva, la motora en motora y perseverancia; y la no planeada en autocontrol y complejidad cognitiva.
- UPPS-P
Es un cuestionario con 59 ítems que contiene diferentes aspectos a analizar. Estos aspectos son: la urgencia positiva, la urgencia negativa, la falta de premeditación, la falta de perseverancia y la búsqueda de sensaciones).
- Escala de impulsividad funcional y disfuncional de Dickman [20].
Esta escala está compuesta de 23 ítems que se dividen en dos sub-escalas. Un conjunto de 11 ítems miden impulsividad funcional, mientras que los 12 ítems restantes miden impulsividad disfuncional. Entre los distintos ítems se encuentran, por ejemplo, “Con frecuencia, no dedico suficiente tiempo a pensar sobre una situación antes de actuar” o “Disfruto resolviendo problemas lenta y cuidadosamente”.

2.3.2. Electroencefalografía relacionada a eventos

La electroencefalografía relacionada a eventos consiste en la monitorización de la actividad eléctrica del cerebro mientras el individuo realiza determinadas tareas. Tiene la desventaja de que no consiste en una medida específica de impulsividad ya que se ha demostrado que también se puede relacionar a diferentes condiciones psiquiátricas.

2.3.3. Medidas de comportamiento en laboratorio

Las medidas de comportamiento en laboratorio consisten en tests que, en lugar de basarse en las respuestas a determinadas preguntas, se basan en el comportamiento del individuo durante el desarrollo de una determinada prueba. Estos tests se pueden clasificar ampliamente en dos tipos: los que miden impulsividad motora y los que miden impulsividad cognitiva [21], [22], [23], [9].

Los tests que miden impulsividad motora se fundamentan en la incapacidad del individuo impulsivo para contenerse de realizar cierta acción o respuesta, y, por lo tanto, realizan un estudio del control inhibitorio del sujeto. Como norma general, el individuo debe responder a unos estímulos con una determinada acción, y a otros estímulos inhibiendo dicha acción. La medida de impulsividad se obtiene en relación a los tiempos de reacción para cada estímulo.

En cambio, los tests que miden impulsividad cognitiva se fundamentan en la incapacidad del individuo impulsivo a esperar para obtener una recompensa mayor. En este tipo de test, y como

norma general, se ofrece al sujeto la posibilidad de obtener una recompensa menor pero inmediata o una recompensa mayor, pero con un retardo en el tiempo. El individuo impulsivo escogerá la primera.

Su principal ventaja es que este tipo de medidas se pueden utilizar de manera repetida, por lo que son ideales para personas que están recibiendo un tratamiento. La desventaja es que no tienen en cuenta el aspecto social de la impulsividad y no miden patrones a largo plazo del comportamiento.

2.3.3.1. Medidas de impulsividad cognitiva

Para medir este tipo de impulsividad, se hace referencia a la medición de elección impulsiva, es decir, a un proceso de decisión en el que se tiene en cuenta la respuesta rápida sin tener en consideración los posibles efectos adversos. Para ello, existe multitud de tests de laboratorio que hacen que el sujeto tenga que realizar una elección que pueda llevarle a una situación ventajosa o no, dentro de la prueba. A continuación se describen diferentes tareas a realizar en laboratorio que permiten obtener datos objetivos que ayuden al profesional clínico en la detección de si el sujeto realiza elecciones impulsivas o no.

- Porteus maze (Laberinto de Porteus) [24]

Consiste en una tarea a realizar con lápiz y papel en la que se presentan al sujeto una serie de laberintos dibujados en los que deberá trazar el recorrido hasta la salida, sin poder volver atrás. Cada laberinto presentado, es más complicado que el anterior. Debido a la necesidad de planificación para llegar a la elección correcta, un individuo impulsivo tendrá más errores y será más rápido (realizará una elección impulsiva). En la Figura 3 podemos ver un ejemplo de 6 ítems consecutivos de esta tarea en la que se puede apreciar la dificultad que va tomando la prueba.

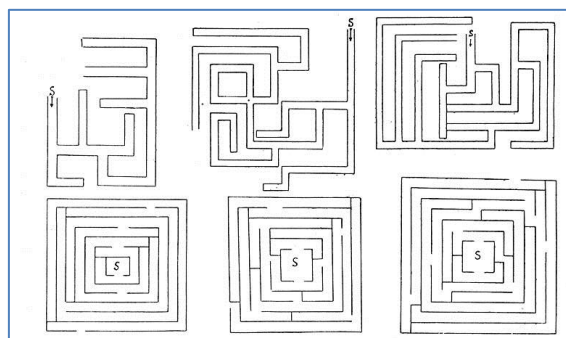


Figura 3. Porteus Maze Test [25]

- Matching familiar figures test [26]

En este test, se muestra al sujeto una figura que le es familiar y a continuación, 6 figuras más: 5 difieren en un pequeño detalle, mientras que una de ellas es exactamente igual a la primera mostrada. El participante debe emparejar la primera figura con su homóloga entre las 6 mostradas inmediatamente después. Cuando aparecen las 6 alternativas, el sujeto no deja de visualizar la original, por lo que no consiste en memorizar sino en realizar una elección correcta. Es por ello que se mide la latencia, así como el número total de errores.

Los individuos impulsivos serán rápidos e inexactos, es decir, obtendrán una latencia menor y un número de errores mayor. En la Figura 4 podemos observar un ejemplo de un ítem de este test. Es una tarea que se utiliza sobre todo con niños. [23]

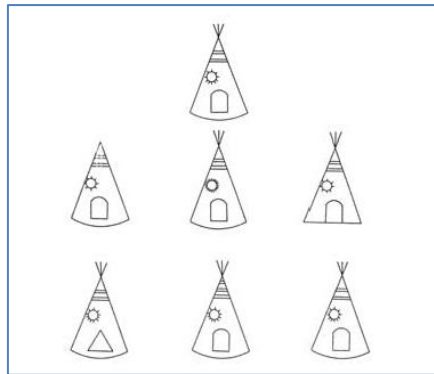


Figura 4. Matching Familiar Figures Test [26]

- **Wisconsin Card Sorting Task [27]**

En esta tarea se presentan al sujeto 4 cartas que contienen un diseño geométrico en su interior. Las 4 cartas difieren en forma, color y número de diseños. El participante irá cogiendo cartas de una baraja que deberá emparejar con una de las cuatro opciones. El emparejamiento se realiza siguiendo una determinada regla (forma, color o número), sin embargo no se le dice qué tipo de patrón se está utilizando. Aún así, sí se le comenta si la respuesta ha sido correcta o no. Después de 10 emparejamientos consecutivos cambia la regla. Para medir impulsividad se utilizan los errores perseverantes, es decir, aquellos que surgen del uso continuado de un criterio que habría sido correcto si se continuara con el patrón inmediatamente anterior; y los errores no perseverantes (el resto). En la Figura 5 se puede ver un intento correcto de esta tarea de una versión computarizada de la misma. Se puede apreciar que el patrón que se sigue en ese momento es el emparejamiento por color.

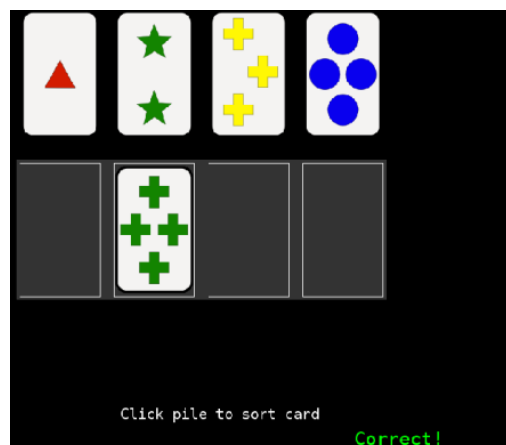


Figura 5. Wisconsin Card Sorting Task [6]

- Paradigmas retardo/descuento de la recompensa

Con este tipo de tareas, se intenta acercar al sujeto a una situación real de decisión. Se considera que la elección impulsiva ocurre cuando el individuo prefiere escoger una recompensa inmediata a una mayor recompensa, pero con un retraso en el tiempo de la misma. Son las más utilizadas para medir este tipo de impulsividad, en su modalidad cuestionario. Un ejemplo es el “Kirby Test” en el que el método utilizado es realizar preguntas al sujeto del tipo: *¿Prefieres 100 € en dos días o 110€ en 62?*; considerando la primera opción como elección impulsiva.

El tipo de medida de laboratorio que se utiliza con este paradigma, se basa en la probabilidad de descuento de la recompensa utilizando la incertidumbre en lugar del retraso en el tiempo [7]. Un ejemplo de esta tarea es el “Iowa Gambling Task” [28]. Esta tarea es propuesta como un juego en el que el sujeto comienza con 2000 € simulados, y realizando diferentes elecciones, aumentará esta cantidad o la disminuirá. Las elecciones se realizan eligiendo cartas de cuatro posibles montones (A, B, C o D). Los montones A y B, contienen cantidades grandes, pero estas cantidades pueden ser de recompensa o descuento. Por el otro lado, los montones C y D contienen cantidades pequeñas que también pueden ser de recompensa o de descuento. La lógica nos dice que un uso continuado de los primeros montones llevará a pérdidas a largo plazo, mientras que un uso continuado de los montones C y D llevará a beneficios a largo plazo. Como medidas para definir si el individuo ha realizado elecciones impulsivas se utiliza el total de dinero al final de la tarea, la diferencia entre elecciones ventajosas y elecciones no ventajosas o el total de elecciones no ventajosas.

En la Figura 6 podemos ver un ejemplo de esta tarea computarizada donde se puede apreciar que la elección realizada por este sujeto le ha llevado a una situación no ventajosa. Cuando el participante ha realizado varios intentos, ya conoce qué montones otorgan o descuentan más cantidad, por lo que es elección suya arriesgarse o no.

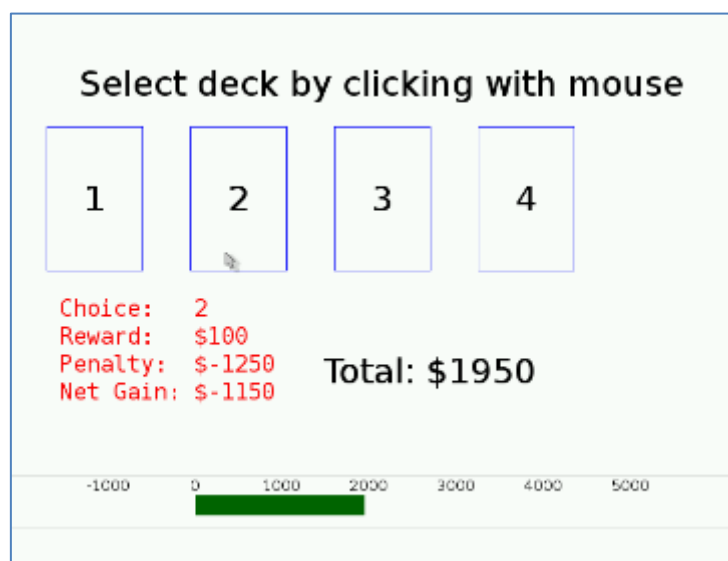


Figura 6. Iowa Gambling Task [6]

2.3.3.2. Medidas de impulsividad motora

Para medir este tipo de impulsividad, se hace referencia a la medición de acción impulsiva, es decir, a la incapacidad para contenerse de dar una respuesta; de controlar los impulsos. El control de impulsos es un mecanismo activo inhibitorio que modula el deseo pre-potente conducido internamente o externamente por reforzadores primarios como pueden ser la comida, el sexo u otras recompensas altamente deseables [22]. Para poder medir este tipo de impulsividad se utilizan diferentes tareas, basadas todas ellas en la inhibición de una respuesta, de una manera u otra.

Estas tareas reciben el nombre de “Stop-signal reaction time task” [7]. En ellas los sujetos son entrenados para responder tan rápido como sea posible en una tarea de tiempo de reacción. Las tareas de tiempo de reacción consisten en mostrar al usuario una serie de impulsos secuenciales ante los que debe responder de determinada manera (pulsar una tecla, tocar un estímulo en una pantalla, etc) con el objetivo de medir el tiempo que tarda el participante en reaccionar a cada estímulo. Suelen ser tareas de larga duración en las que se puede obtener información de la capacidad de atención que tiene el sujeto que las realiza. Si incorporamos a esta tarea una señal de “stop” ante la que el participante debe inhibir la respuesta que está acostumbrado a realizar, podremos obtener información del control inhibitorio que posee el sujeto, y por extensión una medida de impulsividad motora. Existen diferentes tareas relacionadas con el momento en el que aparece dicha señal.

- **Go/no-go**
En esta tarea aparecen dos tipos de señales. La señal de “go”, ante la que el sujeto debe realizar una determinada acción; y la señal de “no-go”, ante la que el sujeto debe inhibir dicha acción. La señal de “no-go” suele ser simultánea o anterior a la señal de “go” [22].
- **Stop task**
Es similar a la tarea descrita anteriormente, pero la señal de “no-go”, o “stop” en este caso, se presenta después de la señal “go”. Cuanto más cerca se encuentra la señal de stop del momento de respuesta más difícil es inhibirla [22].
- **Continuous Performance Test (CPT)**
Este es uno de los tests más utilizados para medir impulsividad. En esta tarea la señal de “no-go” sustituye a la de “go” en cierto número de casos. Existen muchas variantes de esta tarea que difieren en el tipo de estímulos y el intervalo de tiempo entre los mismos.

En [23], se expone que las tareas designadas a medir impulsividad motora son más fiables que aquellas que miden impulsividad cognitiva. Además, estas tareas pueden ser adaptadas de manera que la respuesta que realice el sujeto sea un movimiento realizado con su propio cuerpo y, por lo tanto, ahí es donde entra en juego la captación del movimiento propuesta en este proyecto. Gracias a la captación del movimiento, se podrán obtener un mayor número de datos objetivos que permitan al profesional clínico ver cómo se está comportando el cuerpo del participante en esta tarea.

CAPÍTULO 3. CAPTURA DE MOVIMIENTO

El interés por el análisis del movimiento del cuerpo humano data desde la antigua Grecia, donde Aristóteles, en su tratado “De Motu Animalium”, ya comparó los cuerpos de los animales con sistemas mecánicos. Miles de años después, y gracias al avance de la tecnología, contamos con una gran diversidad de sistemas que permiten la captura del movimiento del cuerpo humano. Estos sistemas son ampliamente utilizados, por ejemplo, en la caracterización de personajes de animación en cine y en videojuegos.

En estas tecnologías, el cuerpo humano es considerado un sistema de elementos rígidos conectados entre sí por puntos de unión (que serán referidos como articulaciones o “Joints”). Por esta razón, las diferentes tecnologías persiguen localizar estas articulaciones para caracterizar al sujeto en cuestión.

Este capítulo comienza describiendo el estado del arte en métodos de captura de movimiento con el objetivo de tener una visión global de los sistemas actuales. Para ello, en la sección 3.1 se hace una breve descripción de las distintas técnicas existentes, diferenciando entre intrusivas y no intrusivas. Esta revisión de las técnicas actuales de captura de movimiento nos llevará a entender el porqué de la elección de la cámara Microsoft Kinect en este proyecto. El segundo bloque de este capítulo, sección 3.2, se dedicará exclusivamente a este dispositivo. Comienza, en la subsección 3.2.1, mostrando la historia de esta cámara. Se expondrán los distintos proyectos que se fueron desarrollando y que, posteriormente, darían lugar al dispositivo Kinect. Tras este recorrido, en la subsección 3.2.2, describiremos los componentes que constituyen la cámara Kinect, lo que nos permitirá conocer las prestaciones que ofrece. En la subsección 3.2.3 se describen las principales librerías existentes. El capítulo concluye en la subsección 3.2.4 mostrando algunas de las aplicaciones desarrolladas.

3.1. Estado del arte en captura de movimiento

3.1.1. Métodos intrusivos [29], [30]

Los métodos intrusivos de captura de movimiento consisten, principalmente, en colocar en el sujeto una serie de sensores que permiten construir un modelo 3D en un ordenador y así poder simular el movimiento de la persona. Estos métodos pueden ser de varios tipos, dependiendo de la naturaleza de los sensores que se utilicen:

- Los sistemas mecánicos se basan en goniómetros⁵ colocados en las articulaciones del sujeto que posibilitan la obtención de ángulos entre ellas.
- Los sistemas magnéticos se basan en sensores ubicados en los puntos de unión del cuerpo humano que miden campos magnéticos de baja frecuencia generados por un transmisor y conectados a un procesador que calcula la posición y orientación de dichos sensores.
- Los sistemas inerciales utilizan sensores que cuentan con acelerómetros y giroscopios que miden la aceleración y velocidad angular para determinar la posición y movimiento de los mismos.
- Los sistemas ópticos utilizan marcadores activos o pasivos dependiendo de si emiten o reflejan luz, respectivamente. Los indicadores activos emiten luz que será captada por la cámara, los pasivos, sin embargo, reflejan luz infrarroja que es emitida por la propia cámara.

Todos los sistemas descritos hasta son métodos intrusivos de captación de movimiento. A pesar de ser sistemas muy útiles y fiables, cuentan con la desventaja de tener que colocar en el sujeto muchos sensores, lo que puede condicionar sus movimientos naturales y retardar el inicio de la tarea, además de encarecerla.

3.1.2. Métodos no intrusivos

Los métodos no intrusivos prescinden de marcadores y utilizan el procesamiento de imagen para reconocer al sujeto. Debido a ello, la captación del movimiento se realiza de manera óptica: realizan una captura de la escena y, posteriormente, efectúan una segmentación que proporciona las articulaciones de la persona.

La forma en la que se captura la escena es esencial. Si se utiliza una única imagen de una cámara convencional 2D todo el peso recae en la tarea de segmentación, lo que requerirá unos costes de computación demasiado elevados. En cambio, si se capta información de profundidad de la escena se facilita bastante la tarea de segmentación. Existen diferentes métodos para capturar la información de profundidad de una escena: métodos pasivos y métodos activos [31].

⁵ Goniómetro: Instrumento que sirve para medir ángulos.

- **Métodos pasivos**

Los métodos pasivos se basan en la obtención de varias imágenes desde diferentes puntos de vista o desde un mismo punto de vista, pero realizando cambios en el foco de la imagen.

- Cambios en el punto de vista:

La utilización de diferentes puntos de vista obteniendo dos o más representaciones de la escena permite la elaboración de mapas de disparidad de imágenes, es decir, mapas en los que se incluyen las diferencias relativas en la posición de cada imagen. Esta disparidad tiene una relación directa con la distancia a la que se encuentran los objetos en cada punto de la imagen. A mayor número de imágenes obtenidas, más precisa será la obtención de la imagen de profundidad.

La captura de imágenes desde diferentes puntos de vista se puede realizar de varias formas:

- Una cámara convencional que varía su posición (siempre que en la escena a analizar no se produzcan variaciones, es decir, sea una escena estática).
- Cámaras plenópticas [32]:

Consisten en cámaras que contienen un conjunto de microlentes entre el sensor y la lente principal y que permiten captar la variación direccional de la luz. Así se obtiene una imagen general formada por múltiples imágenes más pequeñas que han capturado la escena con un punto de vista diferente. Esta técnica permite cambiar el foco de la imagen a posteriori, así como obtener la imagen de profundidad.

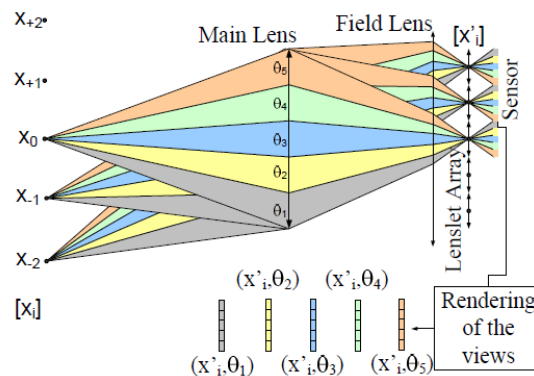


Figura 7. Esquema del funcionamiento de una cámara plenóptica [32]

- Cámaras binoculares:

Son cámaras que contienen dos ópticas que están ligeramente desplazadas en el eje horizontal, y que por lo tanto proporcionan una visión estéreo de la escena a captar.

- Cambiando el foco de la imagen [33]

El foco de una cámara de vídeo está directamente relacionado con la profundidad de la escena. Es por ello que el grado de enfoque puede ser una fuente de obtención de profundidad de los objetos. Existen dos maneras de obtener la profundidad cambiando la distancia focal de la cámara:

- Profundidad de enfoque:

Con esta técnica se varía la distancia focal hasta que el objeto de interés enfocado. Con la ecuación de lentes, se puede obtener directamente la profundidad, pero únicamente en el plano de enfoque. Si se quiere obtener una imagen de profundidad de la escena completa se tendrán que conseguir muchas imágenes con diferente enfoque y realizar el mismo cálculo varias veces.

- Profundidad de desenfoque:

Con esta técnica se tiene en cuenta, al contrario que en la anterior, el nivel de desenfoque de la imagen y su relación con los parámetros de la cámara. De esta manera, con menos imágenes se puede obtener la profundidad de todos los puntos de la escena.

Todas las formas de capturar la imagen de profundidad que se han descrito anteriormente son muy efectivas, sin embargo, hay que tener en cuenta que existen ciertas condiciones que pueden dificultar la posterior segmentación y obtención de las articulaciones:

- La variación del brillo en la imagen, debido a variaciones de luz en la escena.
- El ruido en la imagen.
- Colores similares en el fondo y en la ropa del sujeto a analizar.
- Entornos completamente a oscuras.
- Difícil obtención de la correspondencia de los puntos entre las diferentes imágenes.

- **Métodos activos**

Los métodos activos utilizan fuentes de luz adicional con el objetivo de eliminar los problemas expuestos anteriormente, derivados de la visión pasiva.

- Cámaras de tiempo de vuelo (Time-of-flight cameras) [34]:

Son cámaras capaces, actualmente, de producir una imagen de profundidad en tiempo real. Utilizan una técnica basada en la emisión y reflexión de luz infrarroja sobre el espacio del que se desea obtener la imagen de profundidad. Utilizando la velocidad de la luz, $c = 300 \text{ Km/s}$, se puede obtener la distancia a la que están los objetos del sensor midiendo el tiempo que tarda la luz emitida en regresar, de ahí el nombre de este dispositivo. Se utilizan sensores de imagen, en su mayoría CMOS, para que reconstruyan la imagen de profundidad a partir de la luz reflejada. Dependiendo de cómo se calcule la distancia a cada punto del espacio a modelar se pueden clasificar estas cámaras en dos tipos:

- Por modulación de pulsos (Pulse Modulation - PM):

Miden directamente el tiempo de vuelo de la luz utilizando un temporizador de alta resolución. Este temporizador obtiene el retardo entre la emisión y la recepción de la luz infrarroja (TOF). De esta manera, se puede obtener la profundidad de un punto al sensor con la Ecuación 1.

$$d = \frac{TOF * c}{2}$$

Ecuación 1. Profundidad de un punto utilizando sensores de TOF-PM [34]

Este tipo de cámaras necesitan un temporizador de alta resolución y una señal de luz de gran ancho de banda para poder obtener medidas precisas. Es por ello que son bastante caras.

- Por modulación de onda continua (Continuous Wave Modulation - CWM):

La profundidad se obtiene a partir de la fase de la envoltura de la modulación de la luz reflejada en el pixel. A continuación se describen los cálculos necesarios para la obtención de la distancia de profundidad de un punto.

Supongamos una señal dada por la Ecuación 2,

$$s(t) = \sin(2\pi f_m t)$$

Ecuación 2. Luz infrarroja transmitida en TOF - CWM [34]

siendo f_m la frecuencia de la modulación.

La onda reflejada será la mostrada en la Ecuación 3,

$$r(t) = R \sin(2\pi f_m t - \varphi) = R \sin(2\pi f_m (t - \frac{2d}{c}))$$

Ecuación 3. Ecuación de la onda reflejada [34]

donde R es la amplitud de dicha onda, f_m la frecuencia de la modulación, y φ el cambio de fase que experimenta la onda en su reflexión.

Se puede obtener la profundidad a cada punto del espacio con la Ecuación 4.

$$d = \frac{c\varphi}{4\pi f_m}$$

Ecuación 4. Profundidad de un punto en cámaras TOF-CWM [34]

Son más baratas en comparación con las que utilizan modulación de pulsos, sin embargo son propensas a sufrir aliasing, que se puede solucionar utilizando un escaneado multifrecuencia.

- Luz estructurada

Esta técnica utiliza un emisor de infrarrojos que emite un patrón de puntos. Estos puntos son posteriormente capturados por un sensor de infrarrojos. La distancia de cada uno de los objetos a la cámara es calculada analizando las posiciones relativas de los puntos recibidos. Esta es la técnica que se utiliza en la Kinect. La importancia de esta técnica es que permite la captura y segmentación de la imagen en tiempo real. Cuando se desarrolló la Kinect, las técnicas de tiempo de vuelo actuales eran demasiado costosas computacionalmente como para realizar ambas operaciones en tiempo real.

3.2. Microsoft Kinect

La cámara Kinect es un dispositivo que cuenta con una cámara RGB, un conjunto de micrófonos, un proyector y un sensor de infrarrojos (que proporciona información de profundidad). Gracias a la información de profundidad, el procesamiento interno del dispositivo permite localizar la posición de las diferentes articulaciones del cuerpo. A continuación, se presenta la historia de la Kinect con el objetivo de mostrar los diferentes avances, tanto hardware como software, que proporcionó en su aparición.

3.2.1. Historia [35]

Los orígenes de la Kinect datan de finales de los años 70 cuando Chris Schmandt, del grupo “Architecture Machine Group” del Massachusetts Institute of Technology (MIT), empezó el proyecto “Put-That-There”. Este proyecto perseguía crear y mover formas básicas en una pantalla

utilizando únicamente gestos y voz. Estos objetivos se lograron utilizando un cubo magnético en la muñeca del usuario y un micrófono en su cabeza. En la Figura 8 se puede observar dicho proyecto.

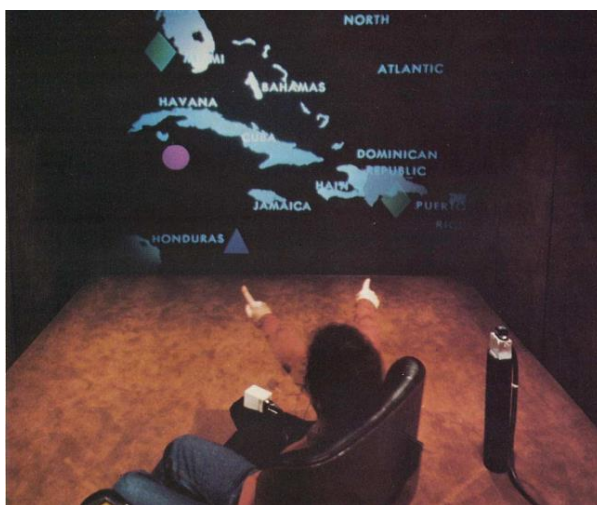


Figura 8. Proyecto "Put-That-There". [36]

En los años posteriores, se desarrollaron muchos proyectos que proporcionaron pequeñas mejoras. Sin embargo, hasta finales de los años 90, no se desarrolló la primera interfaz de usuario avanzada que utilizaba un sistema de visión para el reconocimiento de los gestos del usuario. Esta interfaz fue desarrollada por Mark Lucente para IBM proponiéndola como alternativa a los dispositivos de entrada habituales (teclado y ratón).

Posteriormente, en el año 2006, Nintendo lanzó al mercado la consola Wii. Su dispositivo remoto podía detectar el movimiento de la mano del usuario a lo largo de tres ejes de la misma manera que se hacía con el cubo magnético del "Put-That-There". La aparición de esta consola y su dispositivo remoto situó a Nintendo en la cabeza de empresas del sector de videojuegos. La rivalidad entre empresas desarrolladoras de videojuegos provocó que Microsoft decidiese empezar un proyecto con el objetivo de destronar a Nintendo.

Con esta finalidad, Microsoft creó inicialmente dos grupos de trabajo: uno trabajando con la tecnología de PrimeSense, y el otro con la de la compañía 3DV. Posteriormente, en el año 2009, Microsoft comenzó el "Project Natal", liderado Alex Kipman. El objetivo de este proyecto era desarrollar un dispositivo que incluiría reconocimiento de profundidad, seguimiento de movimiento, reconocimiento facial y reconocimiento de voz. Este dispositivo consistiría de una cámara RGB y de un detector de profundidad basado en la tecnología desarrollada por PrimeSense (incluida en el chip PS1080 que era capaz de procesar datos de profundidad a 30 imágenes por segundo). La tecnología de 3DV fue descartada y la compañía comprada para evitar problemas de patentes.

El software de reconocimiento de movimiento tuvo inicialmente varios problemas que debían ser solucionados:

- Necesidad de una posición inicial del usuario en T para poder identificarlo.
- Pérdida ocasional del jugador
- Funcionamiento con un solo tipo de cuerpo.

Además, también era necesario crear un software que permitiera el reconocimiento de voz captada por el conjunto de micrófonos que dispondría el dispositivo. Estos dos retos fueron encomendados a dos grupos de Microsoft Research (MSR): el grupo de reconocimiento de movimiento liderado por Jamie Shotton, y el grupo de reconocimiento de voz liderado por Ivan Tashev.

Así, el reto para Shotton consistía en identificar las diferentes partes del cuerpo humano, ya que los datos de profundidad proporcionados por el hardware permitían la obtención inmediata de la silueta del usuario (Ver Figura 9). Para ello, diseñó un algoritmo que distinguía 31 partes del cuerpo. Posteriormente, grabaron una gran cantidad de vídeos de diferentes personas realizando movimientos básicos, bailando, corriendo, realizando acrobacias, etc. Esta multitud de vídeos permitió adaptar el algoritmo desarrollado, utilizando técnicas de aprendizaje máquina, a diferentes tipos de cuerpo. De esta manera, se generó un árbol de decisión que clasificaría cualquier persona, sin necesidad de pose inicial, y sin pérdidas en su seguimiento.

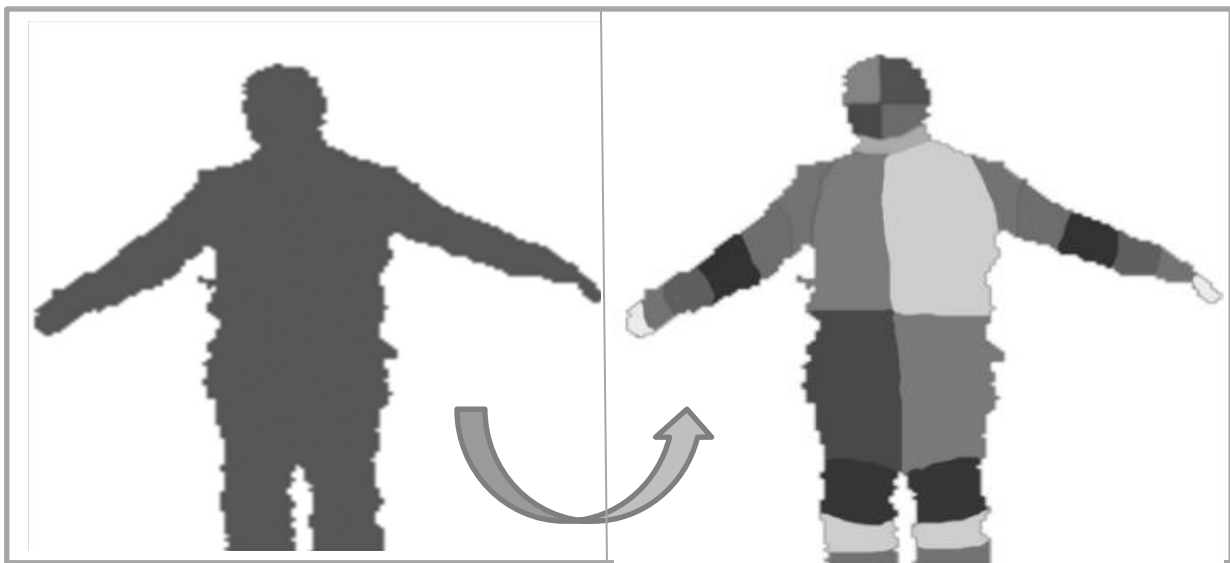


Figura 9. División el cuerpo en partes. [35]

Por otro lado, el reto para Tashev consistía en filtrar el ruido de fondo captado por el conjunto de micrófonos. Con una combinación de diferentes tecnologías, patentadas previamente por Microsoft, consiguió una supresión eficiente de dicho ruido, además de una cancelación del eco. Posteriormente, sometió su software a aprendizaje máquina para construir un modelo acústico basado en diferentes acentos americanos.

Finalmente, la esperada cámara Kinect fue lanzada al mercado el 4 de noviembre del año 2010. Tuvo un gran impacto comercial ya que en los primeros 60 días se vendieron más de 8 millones de unidades convirtiéndola en el dispositivo electrónico que más rápido se ha vendido de la historia.

Además, su comercialización tuvo un gran impacto entre la comunidad de *hackers*. El mismo día en el que fue puesta a la venta, AdaFruit⁶ ofreció 1000\$ a la primera persona que creara un driver para la Kinect que permitiese la recogida de los datos de vídeo y de profundidad del sensor. La contestación de Microsoft fue rotunda: no lo iban a consentir. La amenaza de Microsoft no sirvió de nada, ya que AdaFruit subió la recompensa a 2000\$.

El 6 de noviembre de 2010 Joshua Blake, Seth Sandler y Kyle Machulis crearon la comunidad OpenKinect para coordinar el esfuerzo y compartir tanto información como herramientas destinadas a la creación del driver.

El 9 de noviembre de 2010, Héctor Martín, un informático de Bilbao, logró desarrollar los drivers y la aplicación que requería AdaFruit para conseguir la recompensa. Una vez reconocido como ganador, se suscribió a OpenKinect y aunaron todos los esfuerzos para publicar los primeros drivers y librerías que permitían el control del dispositivo: libfreenect..

El 10 de diciembre de 2010, PrimeSense publicó sus drivers y librerías de código abierto como alternativa a libfreenect: OpenNI. Gracias a estas librerías, se permitió que Kinect no fuera utilizada únicamente como accesorio para videojuegos, sino que dio lugar a diferentes líneas de investigación que utilizaban este dispositivo. Un mes después de su comercialización ya habían alrededor de nueve páginas web conteniendo breves descripciones de aproximadamente 90 proyectos [37].

Debido a su amplia disponibilidad y bajo coste muchos investigadores empezaron a desarrollar aplicaciones para Kinect con usos en los que no se había pensado en su creación. Estos usos incluyen nuevas formas de interactuar con máquinas y de realizar otras tareas, que van desde ayudar a niños con autismo hasta a utilizarla como herramienta de apoyo para cirujanos en un quirófano.

⁶ AdaFruit: vendedor de kits electrónicos de código abierto.

3.2.2. Componentes [35] , [38]

Como se ha comentado, Kinect es un dispositivo que está formado por varios componentes que permiten crear aplicaciones con interfaz natural de usuario. A continuación, se hace una descripción de estos componentes.



Figura 10. Componentes Kinect

- **Cámara RGB**

Es una cámara VGA con sensor CMOS que trabaja a una resolución de 640x480 a 30 imágenes por segundo, o a una de 1280x1024 a 10 imágenes por segundo. Como características propias, se puede comentar que realiza balance de negros y blancos de manera automática, evita el parpadeo y la saturación del color, esto último gracias al CMOS, y corrige defectos. Las imágenes que se obtienen con esta cámara son de calidad media. Para este proyecto no se necesita obtener imágenes de calidad ya que únicamente las utilizamos para visualizar al usuario en la calibración de su posición, como veremos más adelante.

- **Sensor de profundidad 3D**

El sensor de profundidad está compuesto por dos elementos: un emisor de luz infrarroja y una cámara infrarroja, que están separados entre sí 7,5 cm.

- El emisor de luz infrarroja consiste en un proyector que emite un patrón de luz infrarroja que es difractada y, por lo tanto, convertida en un mallado de puntos infrarrojos en la zona de visión de la cámara.
- La cámara infrarroja consiste en un sensor CMOS monocroma que capta la luz infrarroja del emisor.

- **Conjunto de micrófonos**

Son cuatro micrófonos que se encuentran en la parte inferior del dispositivo que cuentan con un conversor analógico-digital de 24 bits y operan a 16KHz.

- **Motor y acelerómetro**

El dispositivo cuenta con un motor en su base que permite variar el ángulo de inclinación de la cámara. Además, tiene un acelerómetro que permite al dispositivo conocer qué inclinación tiene en cada momento.

- **Procesador PS1080 [39]**

Constituye la tecnología base de PrimeSense sobre la que se fundamenta Kinect. Controla la información de audio y vídeo de manera independiente. En la Figura 11 podemos ver cómo recoge toda la información, la procesa y la entrega por USB al PC o Xbox 360.

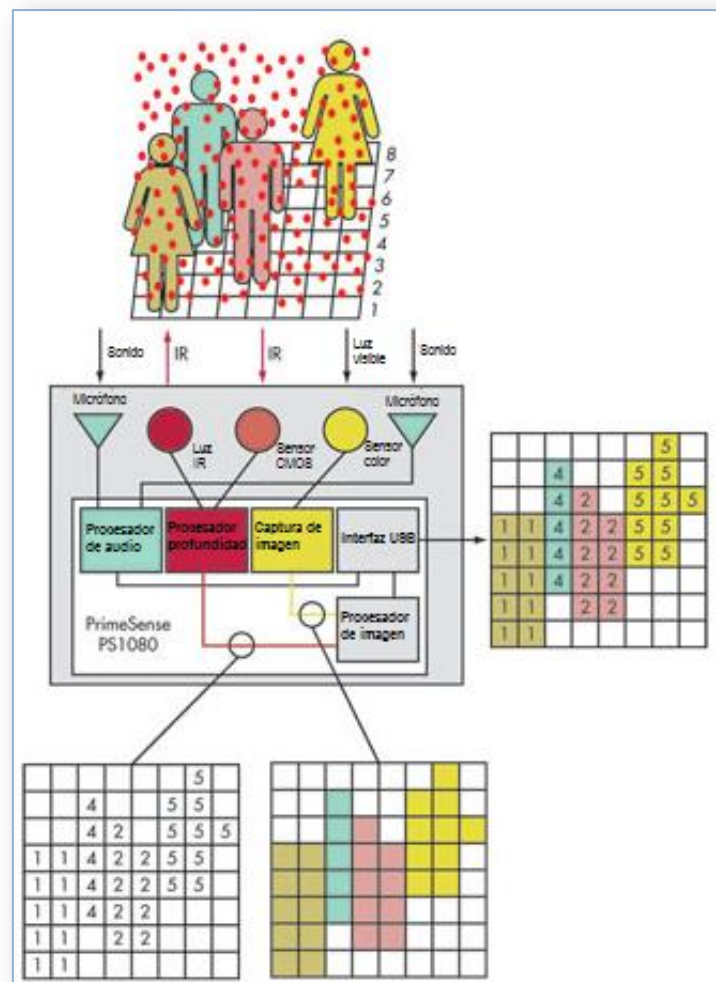


Figura 11. Funcionamiento dispositivo Kinect [39]

Es el encargado de convertir los datos obtenidos por el sensor de color en la imagen de vídeo en formato RGB. También se encarga de calibrar el emisor y el sensor de infrarrojos, y de realizar los cálculos necesarios para obtener la distancia a la que se encuentra cada píxel de la imagen con el objetivo de obtener la imagen de profundidad.

Como ambos sensores, de color y de profundidad, están separados una distancia de 2,5 cm también es necesario que se calibren para que los píxeles obtenidos coincidan. Todo lo descrito da lugar a los datos RGBD que se entregan a la consola XBOX 360 o al PC.

3.2.3. Librerías

Los datos que proporciona el dispositivo pueden ser utilizados para crear diferentes aplicaciones de interfaz natural. Debido a que Microsoft inicialmente no proporcionó los drivers y librerías, se crearon los drivers y diversas librerías necesarias para la obtención de la información captada por Kinect. Es por ello que, actualmente, existen diferentes tipos de librerías “no oficiales” para obtener los datos del dispositivo, así como las oficiales de Microsoft, que fueron publicadas debido al llamado “Efecto Kinect”.

3.2.3.1. *Libfreenect* [40]

Es una librería de desarrollo creada específicamente para obtener la información de Kinect y que incluye el código necesario para activar, inicializar y comunicar datos con el hardware Kinect. Surgió del esfuerzo realizado por Héctor Martín para conseguir el premio de 3000\$ otorgado por AdaFruit, y por la comunidad OpenKinect. Se puede utilizar en diferentes sistemas operativos (Windows, Linux, OSX) y se pueden desarrollar aplicaciones en distintos lenguajes de programación (C, C++, C#, Java o Python).

Proporciona librerías para la obtención de los datos del dispositivo. Sin embargo, son drivers de bajo nivel que no contienen librerías que directamente permitan hacer el seguimiento del cuerpo humano, principal objetivo de la utilización de Kinect en este proyecto. Debido a esto, ha sido descartada frente a OpenNI y el Kinect SDK, que serán descritos a continuación.

3.2.3.2. *OpenNI* [41], [42]

Es un framework de código abierto desarrollado por PrimeSense (entre otras compañías), que proporciona los drivers y librerías necesarias que permiten el desarrollo de aplicaciones que utilizan interfaz natural de usuario. Con este framework se pretende desarrollar una API estándar que permita la comunicación con sensores de audio y vídeo (no sólo de Kinect) y con aplicaciones middleware que permiten obtener datos de estos sensores. (ver Figura 12).

Al igual que libfreenect, es una plataforma cruzada que permite correr su código sobre Windows, Linux y OSX. Es de las más utilizadas junto con el Kinect SDK de Microsoft. Además, sus licencias permiten el desarrollo de aplicaciones con propósito comercial.

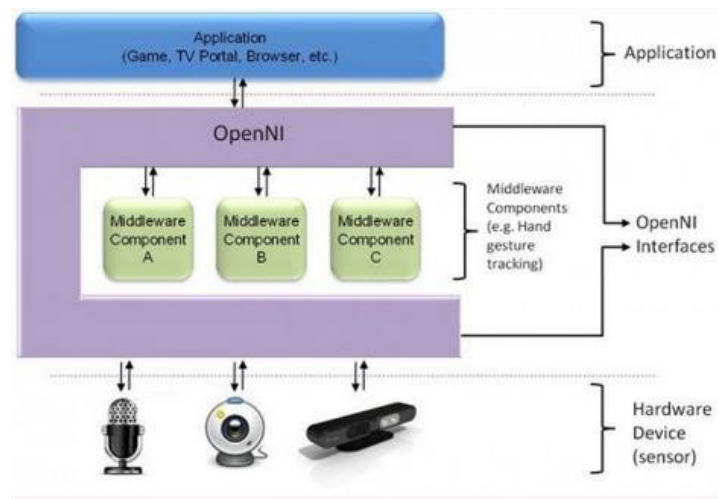


Figura 12. Arquitectura OPENNI [42]

3.2.3.3. Kinect SDK [43]

El gran impacto que tuvo Kinect en el campo de visión por ordenador, gracias a OpenNi y a libfreenect, llevó a Microsoft a publicar, en junio de 2011, su Kinect SDK. Al igual que las demás librerías, proporciona los drivers y un conjunto de librerías que permite el desarrollo de aplicaciones que utilizan Kinect como dispositivo de entrada. Además, junto con el SDK se proporciona un Developer Toolkit que contiene diferentes programas realizados utilizando dicho SDK. Estos programas pueden ser utilizadas como aplicaciones middleware de la aplicación que se desea programar. Un ejemplo podría ser el utilizar el FaceTracking proporcionado en el Developer Toolkit. Este kit de desarrollo permite crear aplicaciones en C++, C# o Visual Basic corriendo sobre Windows 7 u 8. En la Figura 13 se puede observar la arquitectura del kit de desarrollo.

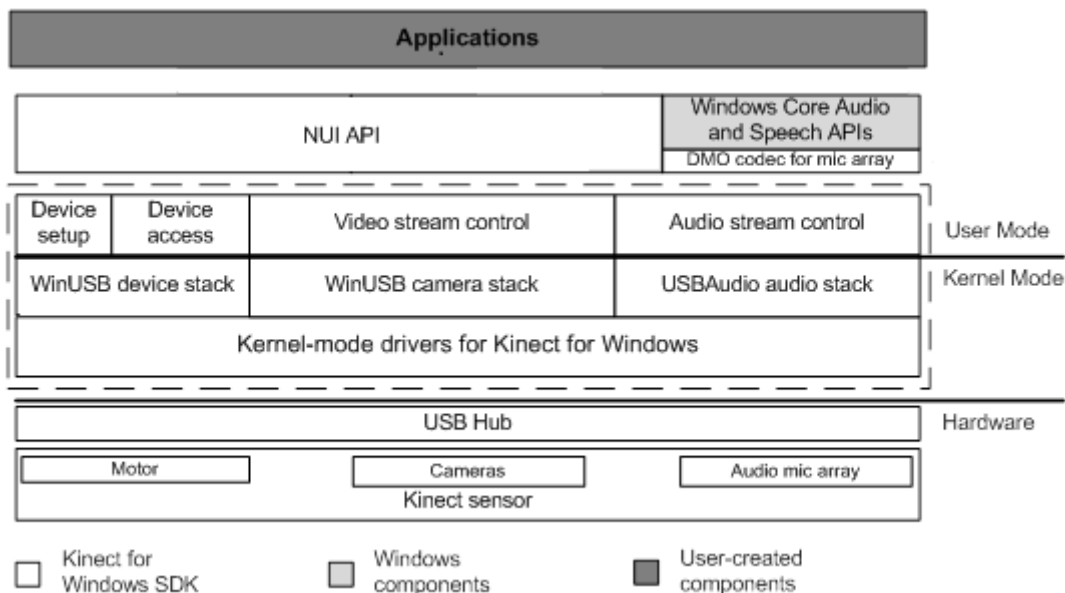


Figura 13. Arquitectura del Kinect SDK de Microsoft [44]

Además, al el Developer Toolkit proporcionado contiene una aplicación llamada KinectStudio que permite la grabación de los flujos de vídeo y de profundidad proporcionados por el dispositivo.

3.2.3.4. Comparación entre Kinect SDK y OpenNI

A continuación, se realiza una breve comparación entre OpenNI y Kinect SDK donde se podrán apreciar las principales diferencias entre ambas librerías y se entenderá la decisión de utilizar el SDK oficial de Microsoft para el desarrollo del proyecto.

OpenNI permite la utilización de otros dispositivos de captación, como por ejemplo la cámara XTION, en cambio el SDK de Microsoft solo permite trabajar con Kinect.

OpenNI es una plataforma cruzada, mientras que Kinect SDK solo puede operar en Windows. Esto puede ser visto como una gran desventaja del SDK, sin embargo, actualmente, Windows sigue siendo el sistema operativo más utilizado y, por supuesto, el que posiblemente esté presente en cualquier centro de salud que quiera adoptar esta nueva propuesta de test de impulsividad.

OpenNI permite obtener un reconocimiento completo de la mano del usuario, sin embargo no es necesaria esta característica para la consecución de los objetivos del proyecto.

Ambas librerías proporcionan seguimiento del cuerpo humano completo con la obtención de 20 puntos. Sin embargo OpenNI necesita que el usuario realice una pose de calibración en T para poder realizar dicho seguimiento. Esto es una limitación que no contiene el SDK de Microsoft, ya que entrenaron su software con miles de imágenes de personas para solucionar este problema.

OpenNI no posee soporte avanzado para audio, en cambio el Kinect SDK permite la supresión de ruido acústico, cancelación del eco y filtrado espacial. Estas características no son necesarias para el desarrollo de este proyecto, sin embargo al inicio del mismo no se sabía qué tipo de test se iba a implementar, por lo que no se quiso limitar a tests con estímulos visuales. Aunque esta característica no sea utilizada en el presente proyecto, puede servir para trabajos futuros.

Kinect SDK proporciona un Developer Toolkit que contiene una aplicación denominada Kinect Studio que se ha considerado fundamental para contar con un backup de vídeos que pueden ser utilizados para volver a correr la aplicación desarrollada sobre ellos, en lugar de tener que repetir las pruebas. Kinect Studio permite la grabación de los streams de color y de profundidad, procedentes del dispositivo.

Las diferencias descritas anteriormente como ventajosas para el Kinect SDK, junto con que es el driver oficial proporcionado por Microsoft con amplia documentación y libros para su facilidad de aprendizaje son las motivaciones principales para basar este proyecto en el Kinect SDK.

En la Tabla 1 se pueden observar, de manera concisa, las diferencias entre las tres librerías descritas.

	libfreenect	OpenNI	MS SDK
Esqueleto	-	Sí	Sí
Localización mano	-	Sí	-
Seguimiento facial	-	-	Sí
Reconocedor de gestos corporales	-	Sí	Sí
Reconocedor de gestos con mano	-	Sí	-
Analizador de escena	-	Sí	Sí
Reconocedor de Voz	-	-	Sí
Reconstrucción 3D	-	-	-
Filtrado	-	-	-
Dispositivos múltiples	-	Sí	Sí
Necesidad de calibrar la cámara	-	Sí	-
Control del Motor	Sí	-	Sí
Multi-plataforma	Sí	Sí	-

Tabla 1. Diferencias entre libfreenect, OpenNI y Microsoft Kinect SDK [38]

3.2.4. Aplicaciones desarrolladas con Kinect

Han aparecido diversas aplicaciones desarrolladas utilizando la cámara Kinect. A continuación, se muestran algunas de ellas clasificándolas en dos grupos: aplicaciones generales y aplicaciones específicas relacionadas con este proyecto.

- **Aplicaciones generales**

Entre las diversas áreas en las que se han desarrollado aplicaciones utilizando la cámara Kinect se encuentran, por ejemplo, la medicina, la robótica, la educación, o el entrenamiento.

- Medicina. La mayoría de las aplicaciones aparecidas en esta área se han centrado en rehabilitación. Como ejemplo, podemos encontrar un estudio en el que se desarrolló un videojuego en el que los sujetos con discapacidades motoras en los brazos se veían reflejados en un avatar que recorría una mina en un vagón, cuyo objetivo era la recolecta de gemas [45].
- Robótica. Como ejemplo de aplicación para robótica que utiliza Kinect, podemos encontrar una en la que se controla la altitud de un helicóptero [46]. En este experimento, fueron capaces de mantener dicho helicóptero a una altura de 1300 milímetros.
- Educación. En [47], Hsu señaló la cámara Kinect como un dispositivo ideal tanto para enseñar como para aprender, ya que permite crear un ambiente ameno que fomenta la interacción y el contenido multimedia. Sin embargo, también señaló las consiguientes limitaciones de espacio requeridas.
- Entrenamiento. Se han desarrollado multitud de aplicaciones que utilizan la cámara Kinect para evaluar el rendimiento de los sujetos mientras realizan determinadas actividades físicas. Estas actividades incluyen, por ejemplo, Yoga para sordos [48] o artes marciales para principiantes [49]. Una aplicación de especial relevancia se puede encontrar en los

llamados “exergames” o ejercicios físicos de corta duración basados en videojuegos. Gao y Mandryk, utilizando la Kinect, desarrollaron un exergame y mostraron que produce tanto beneficios físicos como psíquicos [50].

- **Aplicaciones específicas**

En relación a los objetivos de este proyecto, el número de publicaciones aparecidas es más escaso debido a la novedad del tema. Sin embargo, podemos citar el trabajo desarrollado en [51], donde se mostró la posibilidad de detectar comportamientos anómalos en niños. Indicaron que era posible detectar cuatro tipos de comportamiento (golpear, ignorar, pedir y llorar).

Probablemente, el trabajo más cercano al proyecto que se presenta en esta memoria es el proyecto final de Máster realizado recientemente (en el 2013) por Stanley [52]. En este trabajo, se relacionaron los niveles de atención de un grupo de individuos durante diversos ejercicios con los gestos corporales y faciales que realizaban. Se mostró que los seguimientos facial y comportamental presentaban una fuerte correlación entre la combinación de diversas características corporales y de atención.

Observando lo recientes que son estos trabajos, se puede intuir que caracterizar rasgos psicológicos de personas por sus comportamientos va a constituir un área de investigación relevante en los próximos años. Es más, estos trabajos se encuadran dentro de la recién denominada “ciencia computacional del comportamiento” que combina ciencias de la computación y psicología.

Capítulo 4. Diseño del experimento y resultados

La importancia de la impulsividad en el diagnóstico de enfermedades psicopatológicas ha propiciado el desarrollo de este proyecto, en el que se pretende dar un primer paso en la mejora de su medición. Para ello, se ha desarrollado una aplicación que proporciona medidas de impulsividad utilizando la interfaz natural de usuario mediante el dispositivo Kinect.

En este capítulo, se exponen los distintos elementos que componen el proyecto desarrollado. Primeramente, en la sección 4.1, se realiza una descripción detallada del “Conners’ Continuous Performance Test II” (CPT-II) y del “Test Of Variables of Attention” (T.O.V.A). Estas dos pruebas son ampliamente utilizadas en caracterizar la impulsividad de un individuo. En la sección 4.2, se presenta la escala de impulsividad de Barratt. Este cuestionario será utilizado para evaluar la idoneidad de los índices proporcionados por nuestra implementación del CPT-II como medidas de impulsividad. En la sección 4.3 se presenta la aplicación desarrollada. En particular, se describe: 1) la estructura general de la aplicación; 2) la creación de una base de datos que contiene los datos sociodemográficos de cada uno de los participantes y las respuestas al cuestionario BIS-11; y 3) la implementación de los dos tests, utilizando como dispositivo de entrada tanto Kinect como teclado. El diseño de los experimentos junto con la preparación del escenario utilizado son descritos en la sección 4.4. Este capítulo termina, en la sección 0, con la presentación del análisis realizado a los datos obtenidos con el experimento, así como los resultados.

4.1. CPT-II y T.O.V.A

Durante la realización de este proyecto, se han mantenido varias reuniones con el departamento de psiquiatría de la Fundación Jiménez Díaz. Este departamento mostró su interés en el proyecto debido a que sus resultados podrían ser utilizados en mejorar las valoraciones del TDAH. En estas reuniones, los miembros del departamento nos indicaron que tanto el CPT-II como el T.O.V.A son

frecuentemente utilizados en la evaluación que hacen al paciente durante su primera visita. Por esta razón, se escogieron estas dos pruebas que son dos versiones del CPT, descrito previamente en la sección 2.3.3.2. Como se comentó, el CPT es una prueba que presenta diferentes estímulos al sujeto, quien debe realizar determinadas acciones cuando aparecen ciertos estímulos (señales “go”) u omitirlas cuando aparecen otros estímulos (señales “no-go”). A continuación, se describen estas dos pruebas.

- **Conners’ CPT-II**

En esta prueba, se muestra una secuencia prefijada de diversas letras del alfabeto en la pantalla de un ordenador. Esta secuencia se compone de 18 bloques de 20 letras cada uno. Cada bloque se divide a su vez en dos sub-bloques de 10 letras idénticos tanto en composición, como en intervalo entre estímulos. Dichos intervalos pueden ser de 1, 2 o 4 segundos. Tras la aparición de cada letra, el sujeto debe pulsar la barra espaciadora del teclado tan rápido como le sea posible, siempre que no sea la letra ‘X’. En este caso, el sujeto debe inhibir la acción. La prueba tiene una duración de 14 minutos donde diversas letras ‘X’ se distribuyen a lo largo de la tarea.

- **Test Of Variables of Attention (T.O.V.A)**

Esta tarea presenta dos tipos de estímulos consistentes en diseños geométricos. Estos dos estímulos son mostrados en la Figura 14. El participante debe pulsar la barra espaciadora del teclado siempre que aparezca el diseño de la izquierda, mientras que debe inhibir la acción cuando aparece el diseño de la derecha.

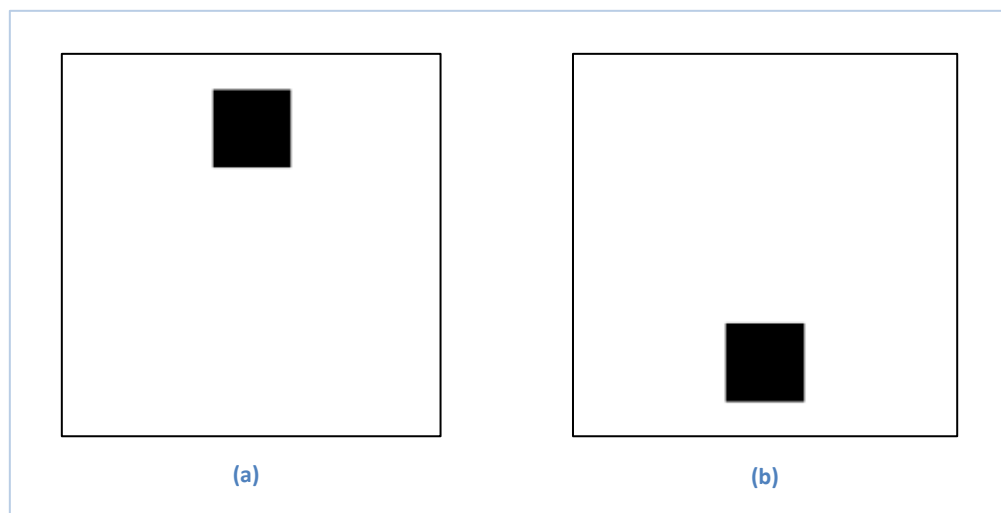


Figura 14. Estímulos T.O.V.A [6]

La tarea tiene una duración de 24 minutos y está dividida en dos grandes bloques de 12 minutos cada uno. La diferencia entre ambos bloques es la frecuencia de aparición del estímulo considerado como señal de “no-go” (Figura 14b). Así, en un bloque aparece muy frecuentemente, mientras que en el otro raramente aparece. El intervalo inter-estímulos es siempre de 2 segundos.

Como se puede apreciar, el CPT-II y el T.O.V.A son muy similares. Sin embargo, presentan algunas diferencias que deben ser consideradas en el desarrollo de la aplicación. En la Tabla 2 se resaltan estas diferencias.

	Conners' CPT-II	T.O.V.A
Tipo de estímulos	Abecedario	Dos imágenes
Intervalo inter-estímulos	Variable: 1,2 o 4 segundos	Constante: 2 segundos
Modo de aparición de la señal "no-go"	Esparcido en el tiempo	Dos modos: frecuente o infrecuente
Duración	14 minutos	24 minutos

Tabla 2. Diferencias entre CPT-II y T.O.V.A

4.2. Escala de impulsividad de Barratt (BIS-11)

Entre los distintos cuestionarios destinados a medir impulsividad, la escala de impulsividad de Barratt fue seleccionada con el objetivo de valorar la utilización de las medidas propuestas posteriormente, en la sección 0, como indicadores de impulsividad. Este formulario está compuesto por 30 preguntas que el participante debe rellenar. En la Tabla 3 se pueden ver las preguntas contenidas en el formulario.

Los ítems que componen el cuestionario se clasifican en dos grupos: directos o inversos. En los ítems directos (e.g. "Hago las cosas sin pensarlas"), las respuestas que indican una mayor frecuencia de la acción mostrada en el ítem reflejan un comportamiento más impulsivo. En este caso, el valor del ítem oscila de 1 ("Raramente o nunca") a 4 ("Casi siempre"). Por otro lado, en los ítems inversos (e.g. "Planifico mis tareas con cuidado"), las respuestas que reflejan mayor impulsividad son aquellas que indican una menor frecuencia de la acción mostrada en el ítem. En este caso, la puntuación del ítem oscila de 4 ("Raramente o nunca") a 1 ("Casi siempre"). En la Tabla 3 se especifica la puntuación que proporciona cada respuesta de cada ítem. La puntuación del cuestionario se obtiene sumando las puntuaciones de todos los ítems.

	Raramente o nunca	En ocasiones	A menudo	Casi siempre
1 - Planifico mis tareas con cuidado	4	3	2	1
2 - Hago las cosas sin pensarlas	1	2	3	4
3 - Tomo decisiones con rapidez	1	2	3	4
4 - Soy despreocupado	1	2	3	4
5 - No presto atención	1	2	3	4
6 - Tengo pensamientos que van muy rápido en mi mente	1	2	3	4
7 - Planifico mis viajes con antelación	4	3	2	1
8 - Soy una persona con autocontrol	4	3	2	1
9 - Me concentro con facilidad	4	3	2	1
10 - Ahorro con regularidad	4	3	2	1
11 - Se me hace difícil estar quieto largos periodos de tiempo	1	2	3	4
12 - Pienso las cosas cuidadosamente	4	3	2	1
13 - Planifico para tener un trabajo fijo	4	3	2	1
14 - Digo las cosas sin pensarlas	1	2	3	4
15 - Me gusta pensar sobre problemas complicados	4	3	2	1
16 - Cambio de trabajo frecuentemente	1	2	3	4
17 - Actúo impulsivamente	1	2	3	4
18 - Me aburro con facilidad tratando de resolver problemas en mi mente	1	2	3	4
19 - Hago las cosas en el momento que se me ocurren	1	2	3	4
20 - Pienso las cosas con serenidad	4	3	2	1
21 - Cambio de vivienda a menudo	1	2	3	4
22 - Compró cosas impulsivamente	1	2	3	4
23 - Sólo puedo pensar en un problema a la vez	1	2	3	4
24 - Cambio de hobbies	1	2	3	4
25 - Gasto en efectivo o crédito más de lo que gano	1	2	3	4
26 - A veces tengo pensamientos irrelevantes cuando pienso	1	2	3	4
27 - Me interesa más el presente que el futuro	1	2	3	4
28 - Me siento inquieto en clases o charlas	1	2	3	4
29 - Me gustan los rompecabezas	4	3	2	1
30 - Planifico para el futuro	4	3	2	1

Tabla 3. Cuestionario de impulsividad de Barratt

4.3. Diseño de la aplicación

La aplicación desarrollada en este proyecto se ha implementado utilizando el entorno de desarrollo Visual Studio en lenguaje de programación C#, ya que es el lenguaje necesario para desarrollar aplicaciones que utilicen Kinect como dispositivo de entrada. Además, utiliza el sistema de presentación Windows Presentation Foundation (WPF).

4.3.1. Estructura general

La Figura 15 muestra el árbol jerárquico de las distintas componentes de la aplicación.

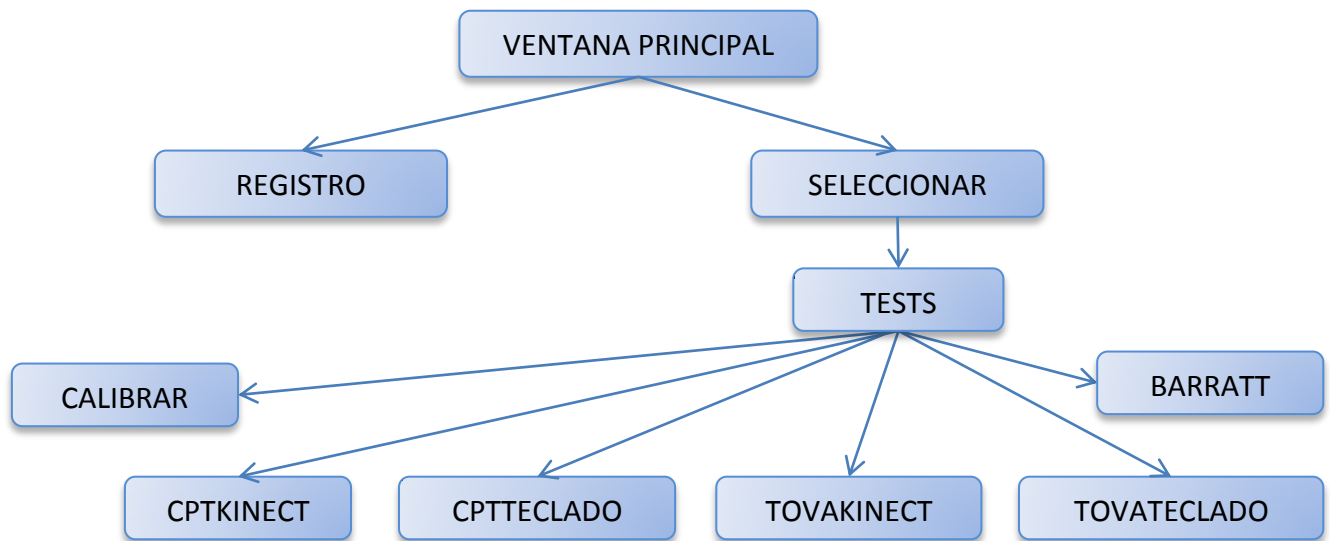


Figura 15. Arquitectura aplicación diseñada

Al iniciar la aplicación se muestra la ventana principal (ver Figura 16).



Figura 16. Ventana principal Evaluación Kinect

Se puede apreciar que hay dos opciones. La opción "Registrar" permite acceder a la ventana de registro de los datos del participante (ver sección 4.3.2). La opción "Acceder" muestra un desplegable que permite seleccionar a un participante ya registrado y nos dirige a la ventana de "Tests" (Figura 17).

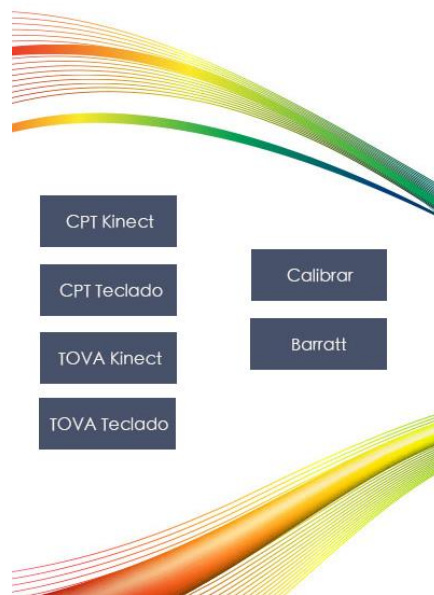


Figura 17. Ventana de acceso a tests

Esta ventana contiene el acceso a: 1) los dos tests, tanto en su versión Kinect como en su versión teclado; 2) el cuestionario de impulsividad de Barratt; y 3) la ventana de calibración que permite posicionar adecuadamente al sujeto respecto de la cámara Kinect.

4.3.2. Registro de datos

4.3.2.1. Datos sociodemográficos

Como se ha descrito en la sección 4.3.1, pulsando el botón “Registrar” de la ventana principal, se accede a un formulario que permite almacenar los datos sociodemográficos de cada participante. Este formulario se muestra en la Figura 18.

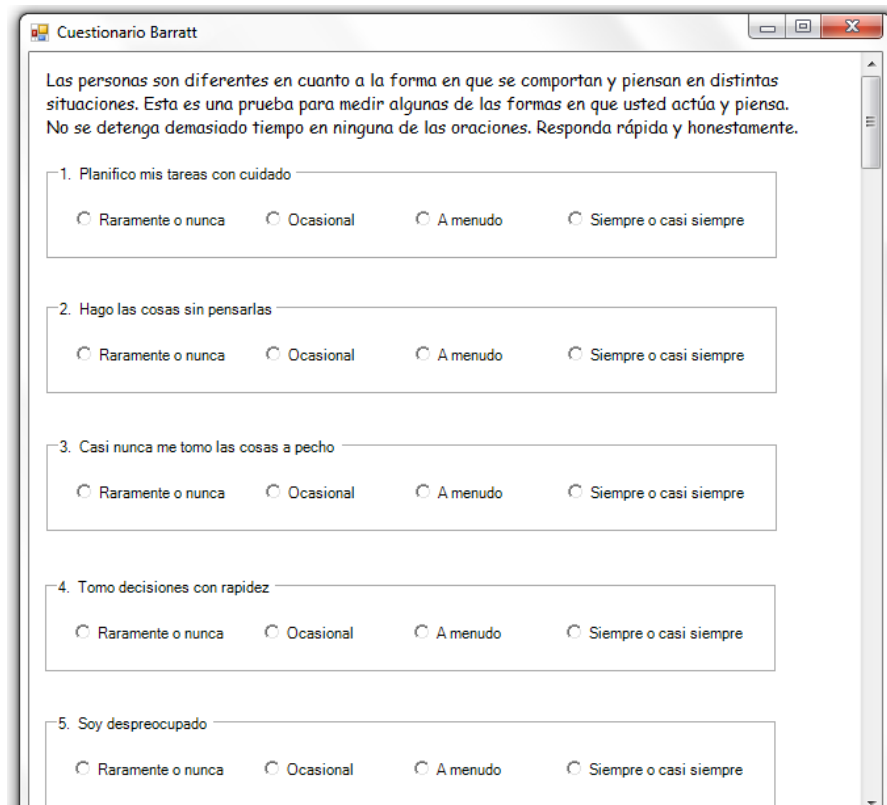
Figura 18. Registro de usuarios

Los datos sociodemográficos de cada uno de los participantes son almacenados en una base de datos Excel, mediante la utilización de la librería *Interop*. Como se puede ver, los datos que proporciona el usuario son nombre, apellidos, estado civil, sexo, nivel educativo, nacionalidad, edad, fecha de nacimiento y fecha de evaluación. A cada uno de ellos se le asocia un identificador

único asignado por orden de llegada, para poder realizar la lectura de datos del fichero Excel (mediante la librería *OleDb*), así como el intercambio de datos entre las diferentes clases de la aplicación.

4.3.2.2. Respuestas al BIS-11

De forma similar a los datos sociodemográficos, los participantes contestan a los ítems del cuestionario de Barratt mediante un formulario que se puede apreciar en la Figura 19. Estas respuestas son guardadas en la segunda hoja del fichero Excel en el que se guardan los datos sociodemográficos.



The screenshot shows a window titled "Cuestionario Barratt". Inside, there is an introductory text: "Las personas son diferentes en cuanto a la forma en que se comportan y piensan en distintas situaciones. Esta es una prueba para medir algunas de las formas en que usted actúa y piensa. No se detenga demasiado tiempo en ninguna de las oraciones. Responda rápida y honestamente." Below this, there are five numbered items, each with four radio button options: "Raramente o nunca", "Ocasional", "A menudo", and "Siempre o casi siempre".

1. Planifico mis tareas con cuidado
☐ Raramente o nunca ☐ Ocasional ☐ A menudo ☐ Siempre o casi siempre
2. Hago las cosas sin pensarlas
☐ Raramente o nunca ☐ Ocasional ☐ A menudo ☐ Siempre o casi siempre
3. Casi nunca me tomo las cosas a pecho
☐ Raramente o nunca ☐ Ocasional ☐ A menudo ☐ Siempre o casi siempre
4. Tomo decisiones con rapidez
☐ Raramente o nunca ☐ Ocasional ☐ A menudo ☐ Siempre o casi siempre
5. Soy despreocupado
☐ Raramente o nunca ☐ Ocasional ☐ A menudo ☐ Siempre o casi siempre

Figura 19. Formulario Barratt

4.3.3. Implementación de los tests

4.3.3.1. Generación de la secuencia de estímulos

Con el objetivo de replicar de la forma más precisa posible el CPT-II y el T.O.V.A, se utilizó el programa PEBL [6]. Este programa genera diversos tests de personalidad entre los que se encuentran los escogidos para este proyecto. Utilizando PEBL, se generaron dos versiones del CPT-II y del T.O.V.A utilizando las aplicaciones "pcpt" y "toav", respectivamente. Esto nos permitió tener dos secuencias de estímulos diferentes para cada test, así como los intervalos inter-estímulos para el CPT-II.

Las secuencias obtenidas para el CPT-II se muestran en las tablas Tabla 4 y Tabla 5.

Bloque	Secuencia de letras										Intervalo inter-estímulo (segundos)
1	P	E	I	G	M	Q	X	S	O	C	4
2	D	H	X	L	B	O	U	M	X	J	1
3	G	O	U	R	D	X	Q	I	P	C	2
4	X	H	I	B	J	S	A	R	M	Q	4
5	S	D	O	L	U	I	G	X	Q	F	2
6	H	C	J	L	I	E	X	A	U	X	1
7	O	G	H	U	C	S	P	E	M	F	4
8	I	U	D	A	X	Q	R	C	S	O	2
9	F	O	L	R	J	X	P	I	U	E	1
10	G	L	U	O	M	X	F	R	Q	D	4
11	F	M	G	X	I	E	C	S	X	O	1
12	H	D	E	I	L	R	U	X	F	A	2
13	O	J	X	D	P	E	C	M	U	A	1
14	O	F	X	U	B	E	G	A	S	J	2
15	S	C	B	J	A	M	H	G	E	U	4
16	Q	G	M	R	H	X	C	J	O	A	1
17	E	S	J	L	M	H	P	U	I	R	2
18	I	A	B	L	E	H	R	F	G	S	4

Tabla 4. Secuencia 1 Conners' CPT-II

Bloque	Secuencia de letras										Intervalo inter-estímulo (segundos)
1	O	P	A	L	U	C	H	E	M	I	2
2	G	C	I	R	X	P	F	L	A	D	4
3	L	P	X	R	B	U	J	F	I	D	1
4	H	D	F	S	L	U	P	Q	E	C	1
5	X	D	B	F	Q	C	I	R	G	S	4
6	A	S	B	F	D	X	X	U	E	P	2
7	I	H	M	G	Q	J	F	X	U	C	1
8	U	O	C	A	F	Q	L	R	S	M	4
9	S	D	H	L	A	U	M	G	F	C	2
10	Q	C	B	S	D	L	E	O	P	J	4
11	O	Q	P	X	U	D	S	C	J	M	2
12	X	E	U	B	A	O	Q	H	R	P	1
13	X	J	R	C	S	O	Q	L	U	E	2
14	S	M	F	D	J	H	B	Q	I	O	4
15	M	A	H	O	D	P	J	B	F	E	1
16	C	I	J	X	A	G	H	S	D	X	4
17	G	D	H	I	U	F	O	M	X	X	2
18	I	J	H	A	S	O	C	F	M	Q	1

Tabla 5. Secuencia 2 Conners' CPT-II

4.3.3.2. Versiones con teclado

Primeramente, se implementó la versión existente, con el teclado como dispositivo de entrada, con el objetivo de poder comparar las mediciones obtenidas de la manera clásica con las mediciones propuestas en este proyecto.

Como ha sido comentado anteriormente, en esta versión, el sujeto debe presionar tan rápido como le sea posible la barra espaciadora cada vez que aparece un estímulo no inhibitorio (señal “go”) y no realizar esta acción cuando aparece un estímulo inhibitorio (señal “no-go”). Para cada sujeto, se guarda el tiempo de reacción calculado como el tiempo transcurrido entre la presentación del estímulo y el momento en el que el participante pulsa la barra espaciadora. Si el sujeto no pulsa la barra espaciadora, se guarda un -1. Estos datos son almacenados en un archivo .txt utilizando un objeto del tipo *StreamWriter*. Estos tiempos de reacción, junto con la secuencia de estímulos, permiten calcular tanto los errores de comisión como los de omisión.

Es importante señalar que antes de iniciar el test, el participante recibe las instrucciones por pantalla. En las figuras Figura 20 y Figura 21 se pueden apreciar las instrucciones de las versiones con teclado.

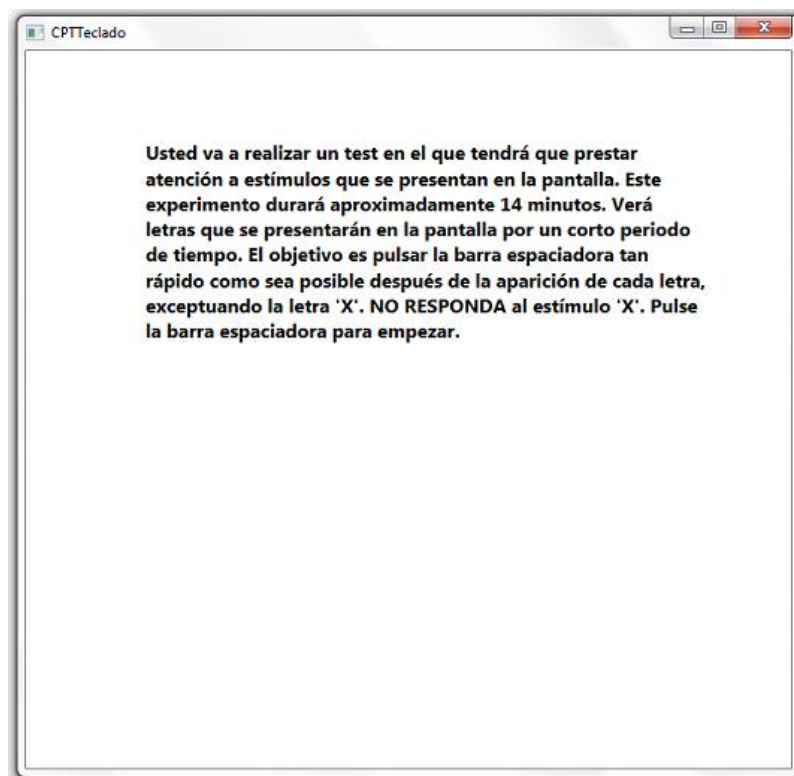


Figura 20. Instrucciones CPT-II con teclado

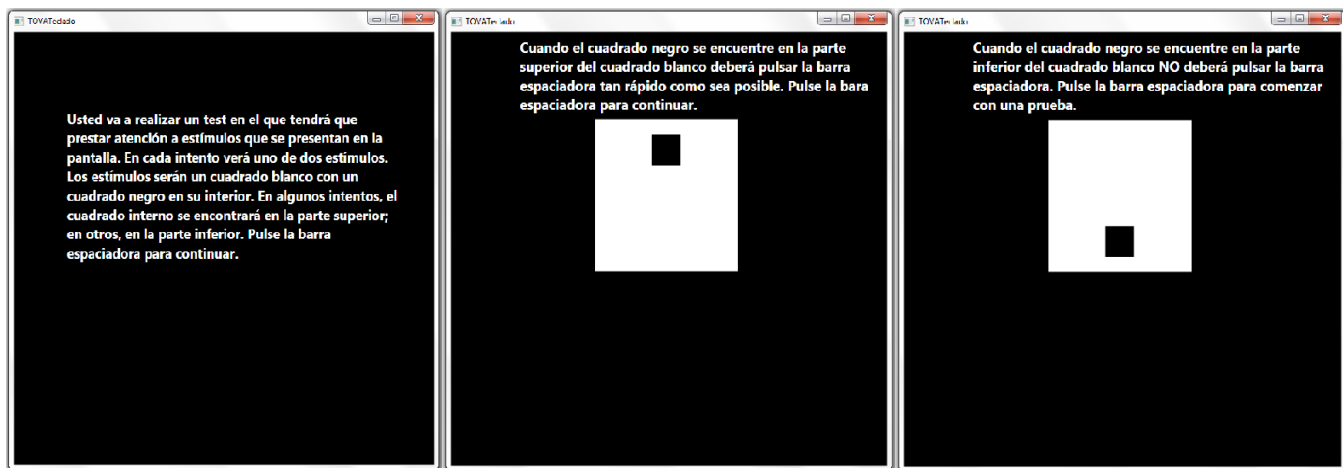


Figura 21. Instrucciones T.O.V.A con teclado

Además, una vez que el usuario ha leído las instrucciones, comienza una fase de entrenamiento del test consistente en una versión reducida del test con el objetivo de familiarizar al participante con el funcionamiento de la prueba. Tras esta fase, aparece una ventana indicando al sujeto el comienzo del verdadero test del que se obtienen los tiempos de reacción. Para aumentar la motivación se le proporciona “feedback”, dándole información de si el intento ha sido correcto o no, así como del tiempo que tarda en su tiempo de reacción.

4.3.3.3. Versiones con Kinect

La versión con Kinect es similar a la versión anterior. La principal diferencia radica en que el sujeto responde a los estímulos levantando su mano dominante. De igual forma a la versión explicada en la sección anterior, el sujeto recibe las instrucciones por pantalla y realiza una fase de entrenamiento. En este caso, además del “feedback”, se muestra durante la realización de la prueba una representación del esqueleto del participante dibujado uniendo los diferentes Joints que proporciona el dispositivo Kinect. El objetivo de esta imagen es obtener una mayor inmersión del sujeto en la prueba. En la Figura 22 se puede observar un ejemplo de la versión Kinect del CPT-II. Se puede apreciar que la Figura 22(a) muestra el instante de tiempo en el que aparece la letra en la pantalla. En la Figura 22(b) se observa que el participante ha levantado la mano, lo que ha sido correcto ya que no se trataba de un estímulo inhibitorio.

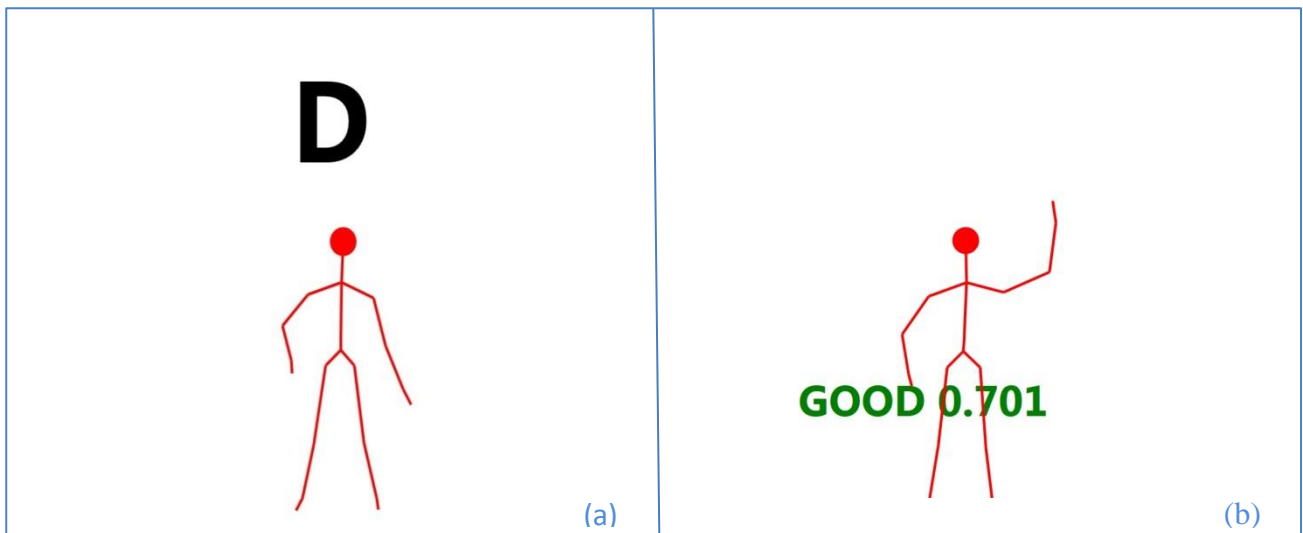


Figura 22. Ejemplo de la aplicación CPT-II desarrollada con Kinect

El *feedback* proporcionado no es el tiempo de reacción real, sino que consiste en el tiempo que tarda el usuario en levantar su mano dominante por encima del hombro. El tiempo de reacción real se obtiene del análisis de la posición de la mano dominante y consiste en el instante en el que el participante empieza a levantar la mano. Los datos, al igual que en la versión de teclado, son guardados en archivos .txt. En este caso se guardan cuatro archivos que contienen:

- Coordenadas relativas a la pantalla
- Coordenadas tres dimensiones cuyo origen es el dispositivo Kinect
- Instante en el que aparece cada estímulo
- Tiempo de reacción mostrado en el *feedback*

Antes de comenzar las pruebas que utilizan Kinect se debe calibrar la posición del usuario respecto al dispositivo. Para ello, se ha desarrollado la ventana de calibración que permite cambiar el ángulo vertical del dispositivo. El supervisor deberá indicar si está en la correcta posición o no. La Figura 23 muestra una correcta calibración del participante.

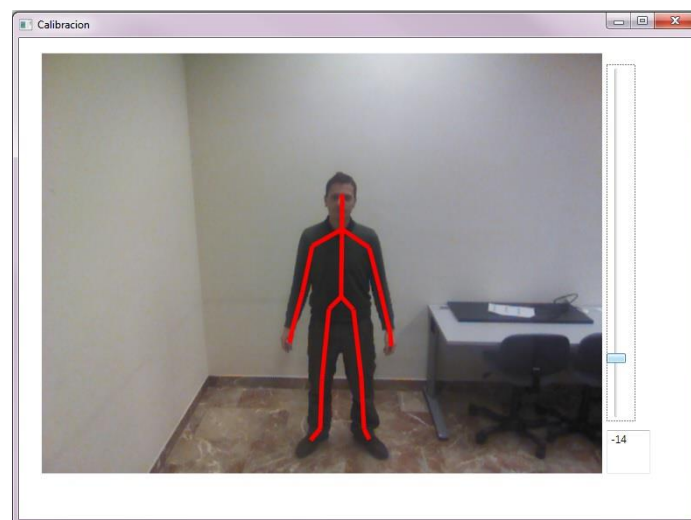


Figura 23. Calibración

4.4. Escenario y diseño del experimento

La recogida de muestras se realizó en un aula de la universidad que fue acondicionada para la realización de los experimentos. El equipamiento utilizado para el desarrollo de las pruebas fue el siguiente:

- Cámara Kinect for Windows
- Cámara Kinect for Xbox 360
- 2 ordenadores
- Aplicación desarrollada: Evaluación Kinect
- Aplicación KinectStudio
- Dos pantallas ACER de resolución 1280x1024 para tener control de ambos ordenadores
- Una pantalla LG de resolución 1920x1080 para la realización de las pruebas con Kinect
- Disco duro externo

La distribución del equipamiento es la mostrada en la Figura 24.

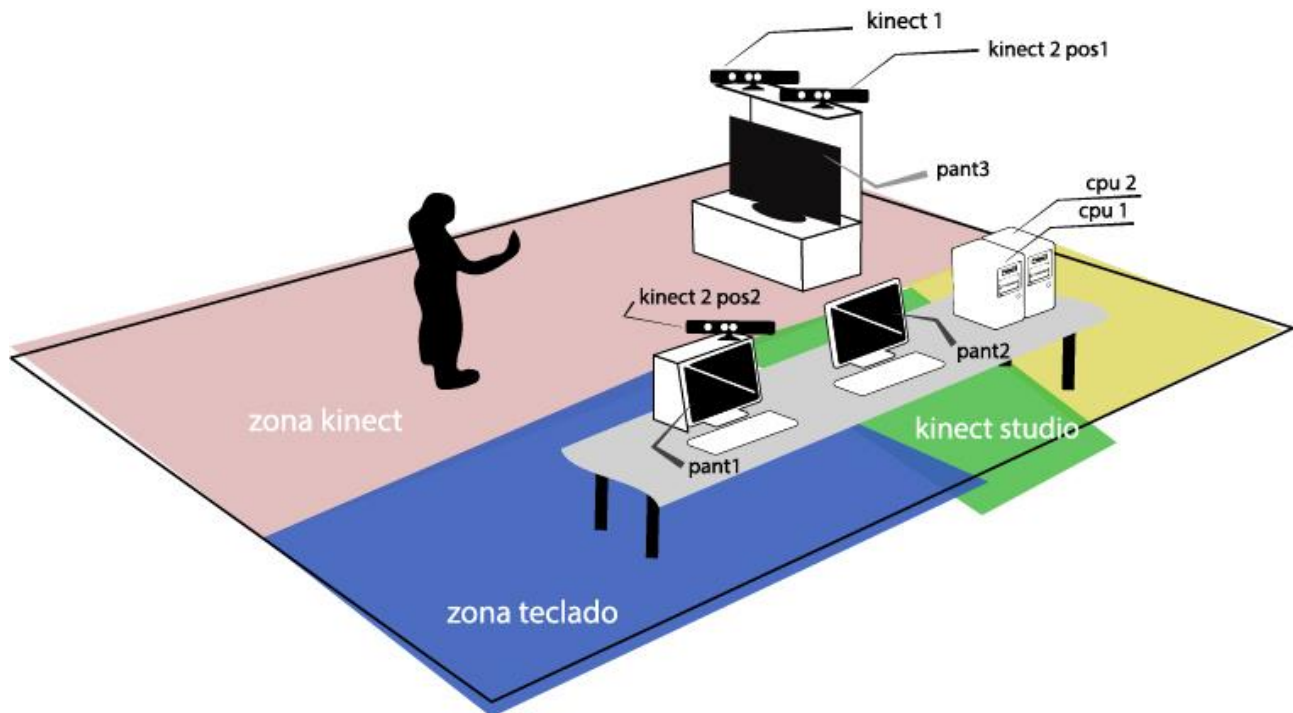


Figura 24. Escenario del experimento

Como podemos ver en el dibujo el escenario del experimento tiene tres zonas, la zona Kinect, la zona teclado y la zona KinectStudio.

En la zona Kinect, se realizan los tests desarrollados utilizando Kinect for Xbox como entrada de datos de la aplicación. El sujeto visualizaba los estímulos en la pantalla 3. La distancia entre el sujeto y esta pantalla era, aproximadamente, de 2 metros; la distancia exacta dependía de las indicaciones de del supervisor de la prueba. Esta calibración se realizaba previamente al inicio de la prueba con Kinect con el objetivo de obtener mediciones más precisas.

En la zona Teclado, se realizaron las versiones clásicas de los tests. Además, el sujeto examinado rellenaba el cuestionario de Barratt. Para ello, el individuo se sentaba delante de la pantalla 1, donde visualizaba los estímulos y utilizaba el teclado como entrada de datos de la aplicación.

Las aplicaciones corren sobre la CPU1 y, por lo tanto, es ahí donde quedan almacenados los datos. La CPU2 tiene instalada la aplicación KinectStudio, utilizada para grabar los flujos de color y de profundidad procedentes de otra cámara (Kinect for Windows) que variará de posición dependiendo del test realizado. Se encontrará en la posición 1 si el test se realiza en la zona Kinect, o en la posición 2 si el test se realiza en la zona Teclado. Se decidió grabar en la posición 2 orientando la cámara hacia la cara del sujeto para realizar FaceTracking en trabajos futuros. La zona KinectStudio era utilizada para la supervisión de la prueba.

Debido a la dificultad en la obtención de personas dispuestas a realizar ambos experimentos durante una hora y media, se decidió no realizar los tests T.O.V.A, ya que son los más largos (24 minutos cada uno). De esta manera se redujo la duración de las pruebas a media hora realizando el CPT-II con Kinect, el CPT-II con teclado, y el cuestionario de Barratt.

Dado que los tests son administrados a los participantes de forma secuencial, hay que tener en cuenta que el orden de administración de estos tests puede afectar al resultado, ya que se realiza el mismo tipo de test dos veces, uno en versión teclado y otro en versión Kinect. Por lo tanto, el aprendizaje de dicho test puede influir. Es por ello que se hace necesario el contrabalanceo. Esto es, dividir el número de participantes por la mitad y administrarles a la primera mitad un orden y a la segunda, el orden inverso. Además del orden de administración de los test, también puede influir la secuencia que se administre primero. Por ello es necesario realizar un contrabalanceo de secuencias de presentación. Así, si tenemos los tests T1 y T2, y las secuencias S1 y S2, la forma de administración será la siguiente:

- 25 %: T1 con S1
- 25 %: T1 con S2
- 25%: T2 con S1
- 25%: T2 con S2

Se realizaron las pruebas a 22 personas a las que, al principio de la sesión, se les explicó el experimento en el que iban a participar. De acuerdo con la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD), cada uno de los participantes firmó una hoja expresando su consentimiento sobre la captura de diversos datos. Estos datos consistían en la grabación de sus pruebas, sus datos sociodemográficos, y sus respuestas al cuestionario de impulsividad. Esta hoja informativa se encuentra en el Anexo IV de esta memoria.

4.5. Resultados y análisis

El análisis a posteriori de los datos obtenidos se realiza mediante un software desarrollado con Matlab. A continuación se procede a explicar la obtención de medidas para las distintas versiones de los tests que sean comparables, a partir de los datos almacenados con la aplicación

desarrollada. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos de la comparación de dichas medidas.

4.5.1. Análisis cuestionario

Los resultados del cuestionario de impulsividad de Barratt de cada participante fueron almacenados en un archivo de Excel. Se utilizó la medida de impulsividad total del cuestionario, resultante de la suma de las puntuaciones de cada uno de los ítems. De esta manera, cada participante tenía una medida de impulsividad que podía ser comparada con cada una de las medidas que se iban a obtener de las dos versiones del CPT-II desarrolladas. Siendo $q[n]$ la función discreta que contiene las puntuaciones de cada ítem del cuestionario, se puede obtener la puntuación total a partir de la Ecuación 5.

$$puntuacionCuestionario = \sum_n q[n]$$

Ecuación 5. Puntuación del cuestionario de impulsividad de Barratt (BIS-11)

4.5.2. Análisis Teclado

El análisis del CPT-II realizado con teclado se realiza mediante la obtención de dos medidas: 1) tiempo de reacción ante cada estímulo, y 2) número de comisiones realizadas. Los tiempos de reacción estaban guardados en un archivo .txt, procedente de la aplicación desarrollada anteriormente. El número de comisiones se calculó comparando dichos tiempos de reacción con la serie de letras utilizada en el test, considerando el tiempo de reacción con valor -1 como inhibición ante algún estímulo. Siendo $s[n]$ la secuencia temporal de letras y $t[n]$ los tiempos de reacción almacenados, podemos obtener el número total de inhibiciones realizadas por el participante y la posición de los estímulos X en la secuencia temporal de letras con las ecuaciones 6 y 7, respectivamente.

$$inhibiciones = \begin{cases} 1, & t[n] == -1 \\ 0, & \text{resto} \end{cases}$$

Ecuación 6. Inhibiciones de un sujeto en el CPT-II con teclado

$$posicionX = \begin{cases} 1, & s[n] == 'X' \\ 0, & \text{resto} \end{cases}$$

Ecuación 7. Vector de aparición del estímulo X

De esta manera, el número total de comisiones realizadas por el sujeto resulta de la fórmula mostrada en la Ecuación 8:

$$comisiones = \sum_n inhibiciones * posicionX$$

Ecuación 8. Número total de comisiones en CPT-II realizado con teclado

4.5.3. Análisis Kinect

El análisis del CPT-II realizado con Kinect persigue la obtención de las mismas medidas explicadas en el apartado anterior (tiempos de reacción y número de comisiones), con el objetivo de comparar ambas versiones del test. Este análisis no se obtiene de manera directa, como en el caso anterior, sino que es necesario realizar un análisis de la trayectoria de la mano dominante del usuario para poder obtener ambas medidas.

4.5.3.1. Tiempo de reacción

El tiempo de respuesta se obtiene como la diferencia temporal entre el instante en que aparece el estímulo y el momento en el que el sujeto comienza a levantar su mano dominante. En la Figura 25(a), se muestra en línea discontinua la trayectoria de la mano de un sujeto, en coordenadas relativas a la pantalla, tras la aparición de un estímulo diferente de X. Se puede apreciar que esta curva tiene forma similar a una meseta. Además, intuitivamente, podríamos indicar el momento en el que el sujeto inicia la acción (aproximadamente en el instante 15). La obtención de esta medida resulta del diseño y desarrollo de un programa en Matlab que calcula automáticamente el instante en que el sujeto comienza a levantar la mano.

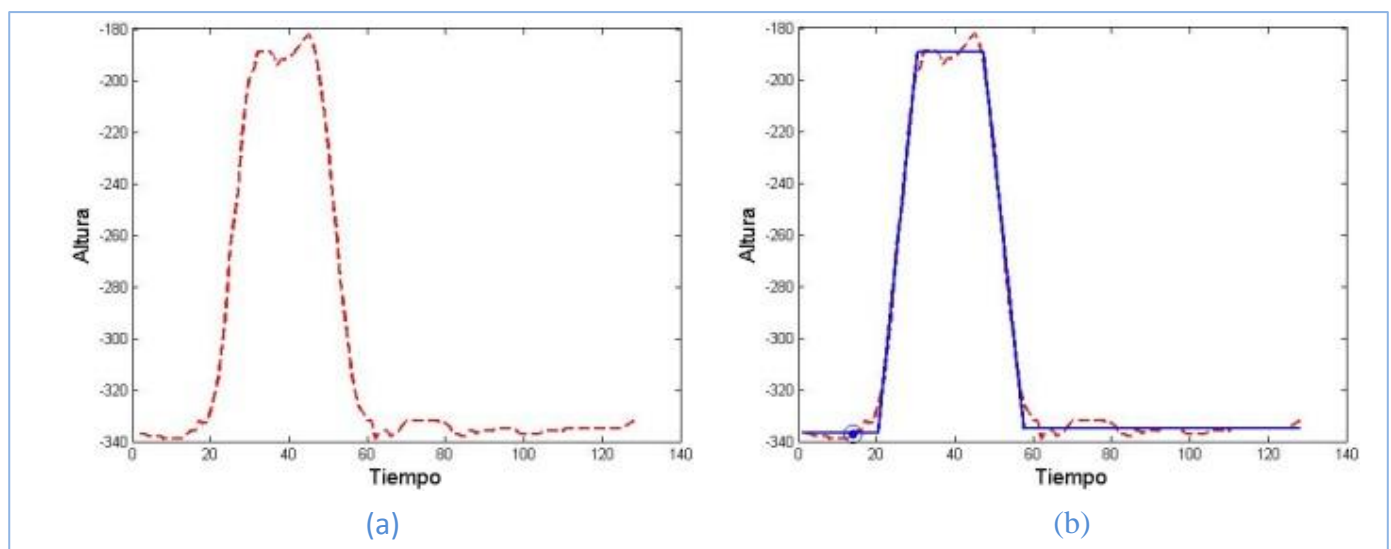


Figura 25. (a) Trayectoria de la mano del sujeto, (b) Ajuste automático a "meseta" de la trayectoria de la mano del sujeto

Este programa ajusta la curva previa mediante una función definida a trozos. Esta función es continua y está compuesta de cinco funciones lineales. Se define en la Ecuación 9:

$$f(x) = \begin{cases} k_1, & x < a \\ \frac{k_1b - k_2a}{b-a} + \frac{k_2 - k_1}{b-a}x, & a \leq x < b \\ k_2, & b \leq x < c \\ \frac{k_2d - k_3c}{d-c} + \frac{k_3 - k_2}{d-c}x, & c \leq x < d \\ k_3, & d \leq x \end{cases}$$

Ecuación 9. Función de ajuste a 5 rectas

Se puede observar que esta función depende de siete parámetros: las tres constantes k_1 , k_2 , k_3 y los puntos en el eje de abscisas a , b , c y d en los que se unen dos rectas. Estos parámetros son estimados utilizando descenso de gradiente mediante la función de Matlab *fmincon* que permite optimizar funciones con restricciones. La función objetivo minimiza la distancia de los puntos originales a cada una de las rectas. Matemáticamente, el problema de optimización se plantea de la forma mostrada en la Ecuación 10.

$$\min \sum_{i=0}^n (x_i - f(x_i))^2$$

Ecuación 10. Función objetivo

sujeto a las restricciones mostradas en la Ecuación 11,

$$\text{restricciones} = \begin{cases} m - t < k_1 < m + t \\ M - t < k_2 < M + t \\ m - t < k_3 < m + t \\ 1 < a < b < c < d < n \end{cases}$$

Ecuación 11. Restricciones de la optimización

donde m y M son respectivamente el valor mínimo y máximo de los datos; y t es una variable de holgura. La parte principal del código desarrollado se adjunta en el Anexo III. Una posible inicialización del algoritmo es comenzar con el punto 7-dimensional en el que las constantes k_1 y k_3 toman el valor m , k_2 el valor M , el valor 1 se asocia a a , d toma el número n , y, por último, b y c se calculan de forma que queden equidistantes entre a y d . El ajuste proporcionado por el algoritmo a la curva anterior es mostrado en la Figura 25(b). El tiempo de reacción del sujeto, marcado con un círculo, se encuentra desplazando el punto de inicio de la segunda recta (punto a) hacia la izquierda hasta que se encuentre a una distancia inferior a un valor prefijado con uno de los puntos originales.

4.5.3.2. Errores de comisión

Para determinar si un sujeto comete un error de comisión, se definió el índice mostrado en la Ecuación 12,

$$I = \frac{(H_x - h_x)}{(M - h_x)}$$

Ecuación 12. Índice de alzamiento de la mano en CPT-II con Kinect

donde H_x y h_x representan la altura máxima y mínima que alcanza la mano durante el estímulo X; y M es la máxima altura alcanzada durante los estímulos anterior y posterior. Estos valores se muestran en la Figura 26.

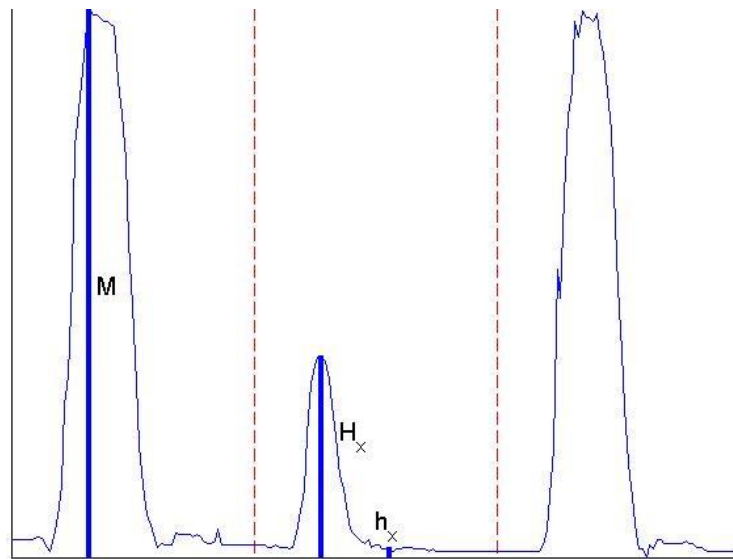


Figura 26. Valores del Índice de alzamiento de la mano

En esta figura, se muestra la respuesta de uno de los participantes a tres estímulos consecutivos. El primero y el último de estos estímulos son estímulos no inhibitorios, mientras que el estímulo central es el estímulo X (inhibitorio). El índice propuesto mide la proporción de desplazamiento de la mano dominante durante el estímulo inhibitorio en relación al máximo desplazamiento ocurrido durante los dos estímulos no inhibitorios. La razón de comparar con los estímulos anterior y posterior, es estandarizar la posible variación en los desplazamientos realizados durante la prueba. Es decir, que a medida que avanza la prueba, el sujeto pudiese realizar desplazamientos inferiores debido a un posible cansancio, sufrido como consecuencia de la duración de la prueba.

Se asume que estos índices pueden agruparse en dos clases: índices correspondientes a un levantamiento significativo de la mano e índices que muestran cierto grado de inhibición del individuo. Además, también se asume que los índices pertenecientes a cada uno de estos dos grupos se distribuyen según una distribución normal. Usando estas dos suposiciones, la distribución de los índices es ajustada a una mezcla de dos Gaussianas.

Por lo tanto, los índices propuestos siguen una distribución dada por la función de densidad mostrada en la Ecuación 13,

$$f(x) = w_1 N(\mu_1, \sigma_1^2) + w_2 N(\mu_2, \sigma_2^2)$$

Ecuación 13. Función de densidad de la distribución Mezcla de Gaussianas

donde w_1 y w_2 representan el porcentaje de datos de cada una de las dos normales, y $N(\mu, \sigma^2)$ es la distribución normal de media μ y varianza σ^2 que tiene la conocida función de densidad expuesta en la Ecuación 14.

$$N(\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2}$$

Ecuación 14. Función de densidad de una distribución Gaussiana

La función de densidad de una distribución que sigue una mezcla de Gaussianas es mostrada en la Figura 27.

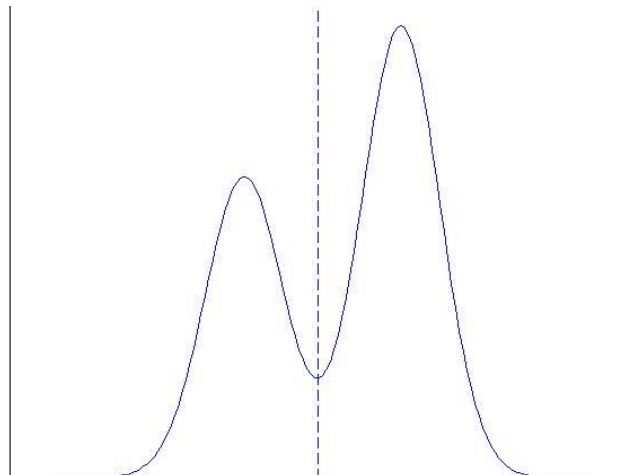


Figura 27. Mezcla de Gaussianas

En esta figura, además, se puede apreciar que un posible umbral de separación de ambas clases es el definido por la intersección de las dos Gaussianas. De esta forma, se selecciona en este proyecto el umbral que determina si el sujeto ha cometido una comisión. Tanto los parámetros de la mezcla de Gaussianas como el umbral han sido estimados utilizando la función de matlab *gmdistribution.fit*.

Como consecuencia de este análisis, la medida que proporciona el número de comisiones realizadas por cada participante es el número total de índices de alzamiento de la mano que queden por encima del umbral obtenido de la intersección de la mezcla de Gaussianas.

4.5.4. Resultados

Una muestra de 22 individuos realizó el CPT tanto en su versión de teclado como en su versión Kinect. La media de edad fue 24.7 con una desviación estándar de 4.05 y el 63% fueron varones. En esta sección, se muestran los resultados obtenidos del análisis explicado en los apartados anteriores. De modo ilustrativo se procede a la explicación de estos resultados con un ejemplo significativo.

La Figura 28 muestra la posición de la mano de uno de los sujetos, en coordenadas relativas a la pantalla, durante 15 estímulos de su prueba con la Kinect.

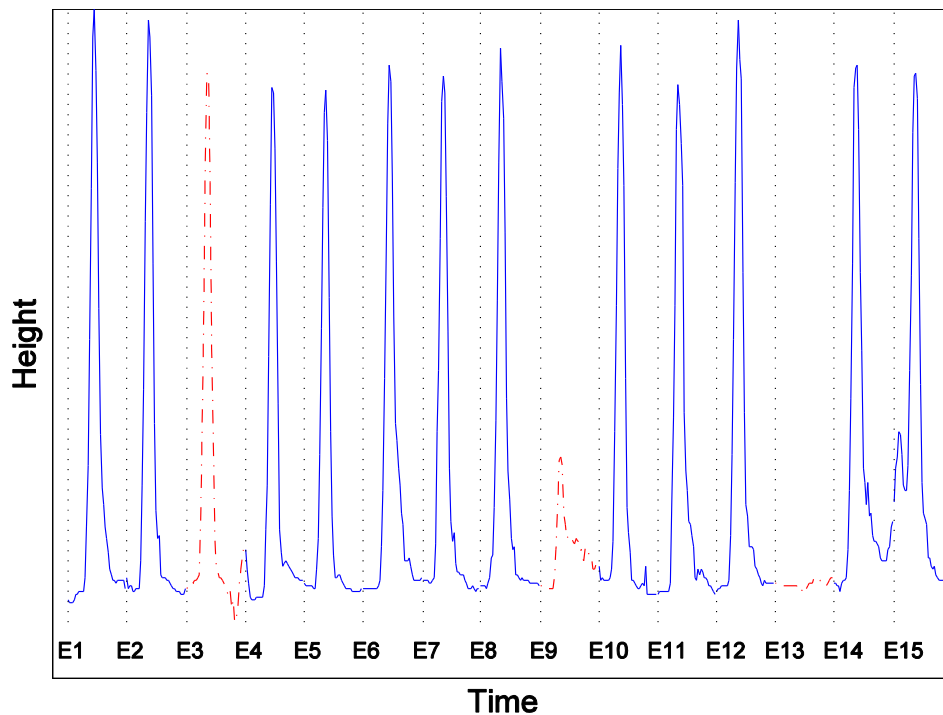
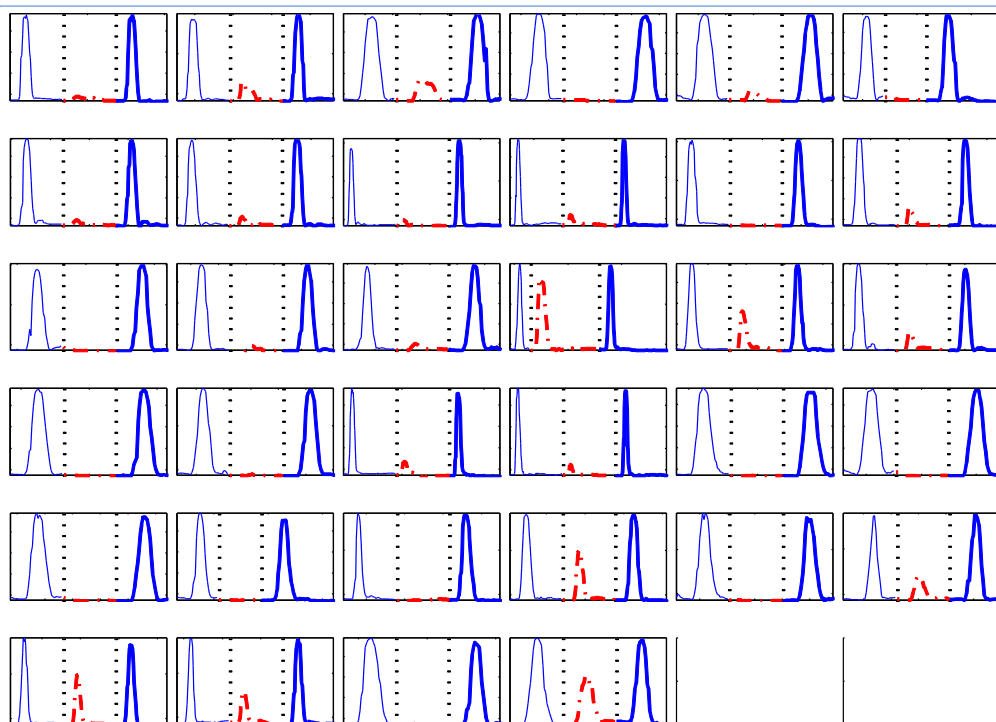


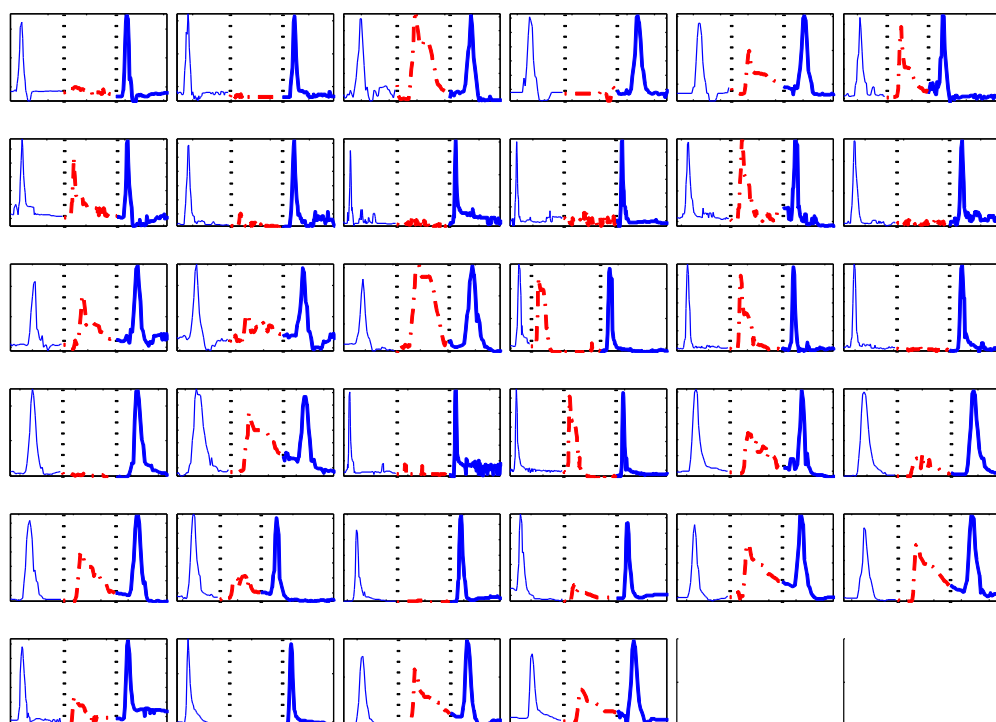
Figura 28. Trayectoria de la mano de un sujeto durante 15 estímulos consecutivos de el test CPT-II, versión Kinect

En esta figura, las líneas verticales punteadas representan el instante en el que apareció el estímulo. Los trazos continuos corresponden a estímulos en los que el sujeto debía levantar la mano, mientras que los discontinuos están asociados a estímulos en los que el sujeto debía inhibir la acción (estímulos 'X'). Se puede apreciar que el sujeto comete un claro error de comisión en el estímulo 3, mientras que, correctamente, inhibe la acción en el estímulo inhibitorio 13. Sin embargo, en el estímulo 9 el sujeto inicia la acción, pero, al darse cuenta de que se trata de un estímulo inhibitorio, regresa rápidamente su mano a la posición original. Este tipo de eventos no pueden capturarse con la versión tradicional que utiliza el teclado. Es por ello que su registro y análisis son las contribuciones principales de este proyecto, ya que asumimos que esta información nos permitirá obtener una medida de impulsividad más precisa.

Con el fin de clarificar la relevancia de la información registrada cuando se utiliza el dispositivo Kinect, a modo de ejemplo, en la Figura 29 se muestran los movimientos de la mano dominante de dos de los sujetos durante todos los estímulos 'X' de la prueba. En esta figura, también se muestran los desplazamientos realizados durante los estímulos anterior y posterior, con el fin de proporcionar un mejor entendimiento del índice definido, anteriormente, en la Ecuación 12. En particular, las trayectorias de la Figura 29(b) corresponden a un individuo que obtuvo una puntuación elevada en el cuestionario de impulsividad de Barratt (alto nivel de impulsividad), mientras que en la Figura 29(a) se muestran los desplazamientos realizados por un sujeto que obtuvo una de las puntuaciones más bajas en el cuestionario (bajo nivel de impulsividad). A simple vista, se puede observar que el sujeto de la Figura 29(b) comete un mayor número de comisiones (ver la altura de las líneas rojas discontinuas). De este modo, se puede apreciar que el nuevo test propuesto en este proyecto presenta una clara correspondencia con el cuestionario de impulsividad de Barratt.



(a)



(b)

Figura 29. Trayectoria de la mano registrada con Kinect en todos los estímulos 'X' de dos sujetos. (a) Participante con baja puntuación en el BIS-11. (b) Participante con alta puntuación en el BIS-11

La Figura 30 muestra los índices de alzamiento de los dos sujetos anteriores. Se puede observar que el individuo con mayor puntuación en el BIS-11 (Figura 30b) presenta índices más elevados.

Los parámetros estimados para la primera distribución Gaussiana son $\mu_1 = 0.05, \sigma_1 = 0.002$; y para la segunda, $\mu_2 = 0.51, \sigma_2 = 0.08$. Los pesos de ambas Gaussianas fueron $w_1 = 0.4$ y $w_2 = 0.6$. Finalmente, el umbral que determina si un índice representa una comisión fue estimado en 0.1356, lo que indica que un levantamiento de la mano por encima de ese porcentaje es considerado como un error de comisión.

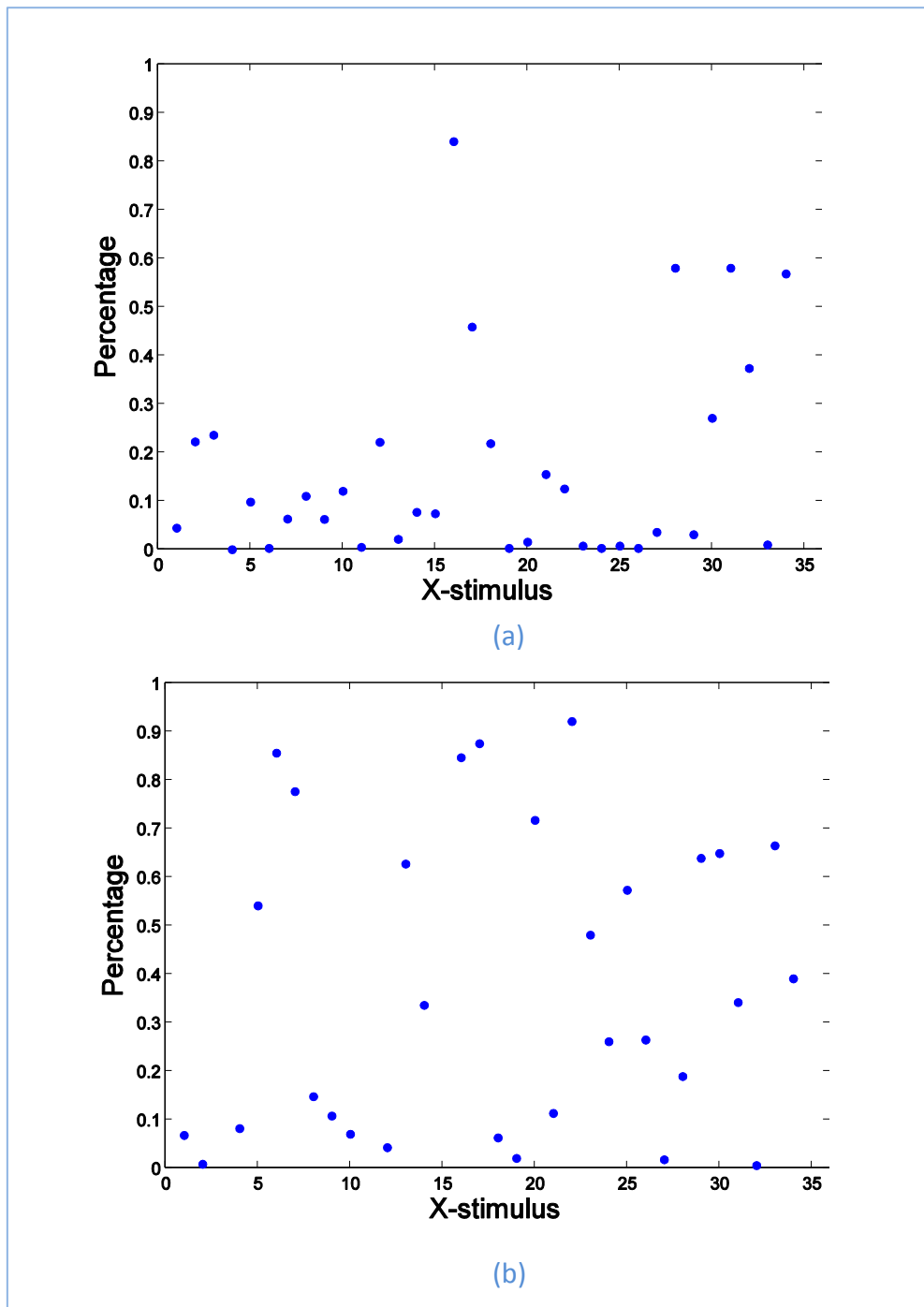


Figura 30. Índices de alzamiento de la mano para todos los estímulos 'X' realizados por dos sujetos. (a) Sujeto con baja puntuación en el BIS-11, (b) Sujeto con alta puntuación en el BIS-11

En la Tabla 6 se muestra la correlación entre el cuestionario de impulsividad de Barratt (BIS-11) y el número de comisiones obtenido por ambas versiones del test CPT-II, Kinect y teclado; y la correlación entre las dos versiones de la prueba. Se puede apreciar que se cumple la suposición inicial del proyecto: mediante el CPT-II desarrollado con Kinect se obtienen estimaciones más precisas que con el CPT-II tradicional.

	Kinect/Bis-11	Teclado/Bis-11	Kinect/Teclado
Comisiones	0.3139	0.2170	0.4346

Tabla 6. Correlaciones entre las comisiones de ambas versiones del test y entre las comisiones cada uno de los tests con el cuestionario.

La Tabla 7 muestra la correlación entre el BIS-11 y el tiempo medio de respuesta obtenido al utilizar ambas técnicas (Teclado y Kinect). Se puede apreciar que ambas correlaciones son parecidas. Además, la correlación entre el tiempo medio de respuesta dado por ambos métodos es de 0.7101, lo que indica una gran similitud entre ambos respecto a esta medida, indicando que la versión del test propuesta en este proyecto es tan válida como la versión existente o mejor, ya que permite mejorar las medidas de comisión sin empeorar la medida del tiempo de respuesta.

	Kinect/Bis-11	Teclado/Bis-11	Kinect/Teclado
Tiempo de reacción	-0.4669	-0.4667	0.7101

Tabla 7. Correlaciones entre el tiempo medio de respuesta de ambas versiones del test y entre el tiempo medio de respuesta de cada uno de los tests con el cuestionario

Es importante indicar que en los cálculos de la correlación de la Kinect se omitieron aproximadamente un 7% de los datos. Esto fue debido a que, en ocasiones, cuando el intervalo inter-estímulos era de un segundo, los examinados no conseguían restablecer su mano a la posición de inicio antes de la aparición del siguiente estímulo.

Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros

En esta memoria se presenta un nuevo sistema de obtención de medidas de comportamiento destinadas a caracterizar la impulsividad de un individuo. Se ha realizado mediante el rediseño de tests de impulsividad existentes y utilizando la cámara Kinect para ayudar en la mejora de las medidas actuales.

Microsoft Kinect es un dispositivo muy eficiente, debido a que utiliza la última tecnología en captura de movimiento. Además, al ser un dispositivo de bajo coste, no sería difícil su adaptación y uso en un entorno clínico. La solución para la detección de impulsividad desarrollada en este proyecto valida la utilización de Microsoft Kinect para el test propuesto: CPT-II de Conners.

El nuevo sistema (Kinect) y el sistema clásico (Teclado) han sido probados sobre una muestra de 22 personas con el objetivo de compararlos y obtener datos estadísticos que indiquen tanto la validez del nuevo sistema como la mejora respecto al sistema clásico, gracias al perfeccionamiento de las medidas existentes y a la obtención de medidas nuevas.

Las medidas calculadas para cada tipo de test han sido los tiempos de reacción ante cada estímulo y el número de errores de comisión. En relación a los tiempos de reacción, se obtuvo que la correlación del test desarrollado con Kinect y el cuestionario de Barratt fue de -0.4669. Por otro lado, la correlación del test desarrollado con teclado y el cuestionario de Barratt fue de -0.4667. Como se aprecia en estos valores, ambos tests muestran un rendimiento similar. Esto también se observa prestando atención a la correlación entre los tiempos de reacción de ambos tests (0.7101).

En relación al número de errores de comisión, se obtuvo que la correlación del test desarrollado con Kinect y el cuestionario de Barratt fue de 0.3139, mientras que la correlación del test desarrollado con teclado y el cuestionario de Barratt fue de 0.2170. Estos valores muestran que la medida del número de comisiones realizada con Kinect proporciona una mejor estimación de

impulsividad que el test clásico, cuando se utiliza como referencia el test de Barratt. Esta diferencia entre ambos tests se puede ver reflejada en su correlación (0.4346). La diferencia radica en que el nuevo sistema es capaz de registrar acciones que no son captadas con el clásico. Dado que una acción como pulsar la barra espaciadora requiere un movimiento mínimo, es posible que el sujeto inicie la acción ante un estímulo inhibitorio, pero retroceda justo antes de pulsar la barra completamente. En el test clásico no se registra esta acción. Por el contrario, en el test con Kinect, la acción a inhibir es la de levantar la mano. El registro de la trayectoria de la mano, permite analizar la acción de retroceso ante un proceso inhibitorio. Es por ello que habrá algunos casos en los que con el test desarrollado con Kinect se suponga una comisión, que con el test con teclado no sería considerada.

Tras la realización del proyecto, se detectaron ciertos aspectos que han de solucionarse en el futuro. Quizás el más importante consiste en modificar los tiempos entre estímulos. Con el fin de que el test desarrollado fuese tan similar al existente con teclado, se utilizaron los tiempos entre estímulos del clásico. Sin embargo, esto produjo la desincronización de los examinados cuando el tiempo de separación entre estímulos era de un segundo. Un segundo es suficiente para presionar una tecla y volver a posicionar la mano en su posición original pero no para levantar y bajar la mano. Por tanto, en trabajos futuros habrá que estimar el tiempo equivalente.

Por otro lado, también es necesario modificar o quitar el *feedback* al usuario. El objetivo de este *feedback* era motivar al sujeto. Este *feedback* se proporcionaba cuando el sujeto elevaba su mano por encima de su hombro. Sin embargo, en ocasiones, el sujeto no llegaba a levantar lo suficiente y al no ver el *feedback* repetía la acción. Esto dificulta la automaticidad del análisis estadístico posterior.

La evaluación mostrada en este proyecto puede ser el inicio de una nueva línea de investigación consistente en adaptar todos los tests psicológicos que se utilizan en la actualidad de la misma manera que se plantea en este trabajo. Como ejemplos, podría realizarse la versión acústica de los tests implementados en este proyecto, la adaptación de otros tests explicados en la sección 2.3.3 de esta memoria, o incluso, crear nuevos tests.

Otro aspecto que deberá ser tratado en el futuro son los análisis estadísticos. Por un lado, es conveniente obtener una muestra más grande de sujetos. Para ello, ya que este proyecto no finaliza con esta memoria, se seguirán recogiendo muestras durante los próximos meses (con los aspectos de tiempo y *feedback* solucionados). Por otro lado, además de analizar las medidas existentes y las diseñadas para este proyecto (como, por ejemplo, el índice I, definido en la sección 4.5.3.2), es importante identificar otras posibles medidas discriminantes como podría ser el comportamiento entre estímulos.

David Delgado, junto con la Fundación Jiménez Díaz, ha realizado una petición, al Ministerio de Economía, de un proyecto de investigación no orientada. Dicha fundación se ha interesado en este proyecto y está planeando implantar este nuevo sistema para investigar su aplicación en el diagnóstico de TDAH.

Finalmente, cabe destacar que el trabajo realizado en este proyecto de fin de grado ha concluido en la escritura de un artículo científico (ver Anexo V) que ha sido enviado a la revista *Transactions on Computer and Human Interactions*, quedando a la espera de su aceptación.

Referencias

- [1] E. Baca-Garcia et al., "Diagnostic stability of psychiatric disorders in clinical practice," *British Journal of Psychiatry*, vol. 190, pp. 210-216, 2007.
- [2] Robert Simon and Thomas Gutheil, "Sudden improvement among high-risk suicidal patients: should it be trusted?," *Psychiatric Services*, vol. 60, no. 3, pp. 387-389, 2009.
- [3] J. N. Epstein et al., "Relations Between Continuous Performance Test Performance Measures and ADHD Behaviors," *Journal of Abnormal Child Psychology*, vol. 31, pp. 543-554, 2003.
- [4] N. Horesh, "Self-report vs. computerized measures of impulsivity as a correlate of suicidal behavior," *Crisis*, vol. 22, pp. 27-31, 2001.
- [5] S. P. Whiteside and D. R. Lynam, "The five factor model and impulsivity: using a structural model of personality to understand impulsivity," *Personality and individual differences*, vol. 30, pp. 669-689, 2001.
- [6] The PEBL Psychological Test Battery. [Online]. <http://pebl.sourceforge.net/battery.html>
- [7] Jeffrey W. Dalley, Barry J. Everitt, and Trevor W. Robbins, "Impulsivity, Compulsivity, and Top-Down Cognitive Control," *Neuron*, vol. 69, no. 4, pp. 680-694, 2011.
- [8] Valerie A. Harpin, "The effect of ADHD on the life of an individual, their family, and community from preschool to adult life," *Archives of disease in childhood*, vol. 90, no. suppl 1, pp. i2-i7, 2005.
- [9] Sharon Dawe and Naralie J. Loxton, "The role of impulsivity in the development of substance use and eating disorders," *Neuroscience & biobehavioral reviews*, vol. 28, no. 3, pp. 343-351, 2004.
- [10] F. Gerard Moeller, Ernest S. Barratt, Donald M. Dougherty, Joy M. Schmitz, and Alan C. Swann, "Psychiatric Aspects of Impulsivity," *The American Journal of Psychiatry*, vol. 158, no. 3, pp. 1783-1792, November 2001.
- [11] Jason Fletcher and Barbara Wolfe, "Long-term Consequences of Childhood ADHD on Criminal Activities," *The journal of mental health policy and economics*, vol. 12, no. 3, pp. 119-138, September 2009.
- [12] (2013) Centers for Disease Control and Prevention. [Online]. <http://www.cdc.gov/ncbddd/adhd/data.html>
- [13] Hilario Blasco Fontecilla, Tesis: Suicidio y trastornos de personalidad, Abril 2006.

- [14] Beth S. Brodsky, Kevin M. Malone, Steven P. Ellis, Rebecca A. Dulit, and J. John Mann, "Characteristics of borderline personality disorder associated with suicidal behavior," *American Journal of Psychiatry*, vol. 154, no. 12, pp. 1715-1719, 1997.
- [15] E. David Klonsky and Alexis May, "Rethinking impulsivity in suicide," *Suicide and Life-Threatening Behavior*, vol. 40, no. 6, pp. 612-619, 2010.
- [16] G. Koller, U.W. Preuss, M. Bottlender, K. Wenzel, and M. Soyka, "Impulsivity and aggression as predictors of suicide attempts in alcoholics," *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, vol. 252, no. 4, pp. 155-160, 2002.
- [17] Gabriel E. Ryb, Patricia C. Dischinger, Joseph A. Kufera, and Kathy M. Read, "Risk perception and impulsivity: Association with risky behaviors and substance abuse disorders," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 38, no. 3, pp. 567-573, 2006.
- [18] Cassandra D. Gipson et al., "A translational behavioral model of mood-based impulsivity: Implications for substance abuse," *Drug and alcohol dependence*, vol. 122, no. 1, pp. 93-99, 2012.
- [19] "Informe Europeo sobre Drogas. Tendencias y novedades," Observatorio Europeo de las Drogas y las Toxicomanías, 2013.
- [20] Scott J. Dickman, "Functional and dysfunctional impulsivity: personality and cognitive correlates," *Journal of personality and social psychology*, vol. 58, no. 1, p. 95, 1990.
- [21] Alan C. Swann, James M. Bjork, F. Gerard Moeller, and Donald M. Dougherty, "Two models of impulsivity: relationship to personality traits and psychopathology," *Biological psychiatry journal*, vol. 51, no. 12, pp. 988-994, 2002.
- [22] Catharine A. Winstanley, Dawn M. Eagle, and Trevor W. Robbins, "Behavioral models of impulsivity in relation to ADHD: Translation between clinical and preclinical studies," *Clinical psychology review*, vol. 26, no. 4, pp. 379-395, 2006.
- [23] Estíbaliz Arce and Carmen Santisteban, "Impulsivity: a review," *Psicothema*, vol. 18, no. 2, pp. 213-220, 2006.
- [24] M. Déry, J. Toupin, R. Pauze, H. Mercier, and L. Fortin, "Neuropsychological Characteristics of Adolescents With Conduct Disorder: Association With Attention-Deficit-Hyperactivity and Aggression.," *Journal of Abnormal Child Psychology*, vol. 27, no. 3, pp. 225-236, 1999.
- [25] İlhan Bozkurt. Online terapiler. [Online]. <http://www.onlineterapiler.com/porteus-labirentleri-testi.html>
- [26] P. Ramiro, J. I. Navarro, I. Menacho, and M. Aguilar, "Cognitive style: reflexivity-impulsivity

among school children with high intellectual level," *REVISTA LATINOAMERICANA DE PSICOLOGIA*, vol. 42, no. 2, pp. 193-202, 2010.

- [27] Rotem Leshem and Joseph Glicksohn, "The construct of impulsivity revisited," *Personality and Individual Differences*, vol. 43, no. 4, pp. 681-691, 2007.
- [28] Melissa T. Buelow and Julie A. Suhr, "Construct Validity of the Iowa Gambling Task," *Neuropsychology review*, vol. 19, no. 1, pp. 102-114, 2009.
- [29] XSENS. (2014, Febrero) XSENS. [Online]. <http://www.xsens.com/en/company-pages/company/human-mocap>
- [30] Anxo Beltrán Álvarez et al. MoCap. [Online]. <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Peliculas/Mocap/tecnol.htm>
- [31] Anat Levin, Rob Fergus, Frédo Durand, and William T. Freeman, "Image and Depth from a Conventional Camera with a Coded aperture," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 26, no. 3, p. 70, 2007.
- [32] Valter Drazic, "Optimal depth resolution in plenoptic imaging," in *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2010, pp. 1588-1593.
- [33] Vinay P. Namboodiri, Subhasis Chaudhuri, and Sunil Hadap, "Regularized depth from defocus," in *Image Processing, 15th IEEE International Conference*, 2008, pp. 1520-1523.
- [34] A. Bevilacqua, L. Di Stefano, and P. Azzari, "People tracking using a Time-of-Flight depth sensor," in *AVSS*, vol. 6, 2006, p. 89.
- [35] Jarrett Webb and James Ashley, *Beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK*.: Apress, 2012.
- [36] Richard A. Bolt, "'Put-That-There': Voice and Gesture at the Graphics Interface," *ACM*, vol. 14, no. 3, pp. 262-270, 1980.
- [37] Zhengyou Zhang, "Microsoft Kinect Sensor and Its Effect," *IEEE Multimedia*, vol. 19, no. 2, pp. 4-10, 2012.
- [38] Leandro Cruz, Djalma Lucio, and Luiz Velho, "Kinect and RGBD Images: Challenges and Applications," in *XXV SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images Tutorials*, Rio de Janeiro, Brazil, 2012, pp. 36-49.
- [39] (2011, Marzo) Electronic Design. [Online]. <http://electronicdesign.com/embedded/how-microsoft-s-primesense-based-kinect-really-works>

- [40] OpenKinect. (2014) [Online]. http://openkinect.org/wiki/Main_Page
- [41] ANIMUS. (2014) ANIMUS a Natural-Interactive Multitouch Surface. [Online]. <http://animusproject.wix.com/web/apps/blog/openni-la-alternativa-open-source-para-hablar>
- [42] OpenNi. (2014) OpenNI The standard framework for 3D sensing. [Online]. <http://www.openni.org/>
- [43] Jarret Webb and James Ashley, *Beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK*.: Apress, 2012.
- [44] Microsoft. (2013) Microsoft Developer Network: Kinect for Windows Architecture. [Online]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131023.aspx>
- [45] B. Lange et al., "Development and evaluation of low cost game-based balance rehabilitation tool using the Microsoft Kinect sensor.," in *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, on the Annual International Conference of the IEEE*, 2011, pp. 1831-1834.
- [46] J. Stowers, M. Hayes, and A Bainbridge-Smith, "Altitude control of a quadrotor helicopter using depth map from Microsoft Kinect sensor. Altitude control of a quadrotor helicopter using depth map from Microsoft Kinect sensor," in *2011 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*, 2011, pp. 358-362.
- [47] H. M. J. Hsu, "The potential of Kinect in education," *International Journal of Information and Education Technology*, vol. 1, no. 5, pp. 365-370.
- [48] K. Rector, C. L. Bennett, and J. A. Kientz, "Eyes-free yoga: an exergame using depth cameras for blind & low vision exercise," in *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 2013.
- [49] C. Chye and T. Nakajima, "Game based approach to learn Martial Arts for beginners," in *IEEE 18th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA)*, 2012, pp. 482-485.
- [50] Y. Gao and R. L. Mandryk, "The Acute Cognitive Benefits of Casual Exergame Play," in *Proceedings of the 30th international conference on Human factors in computing systems (CHI '12)*, Austin, Texas, USA, 2012, pp. 1863-1872.
- [51] "Yu, X.; Wu, L.; Liu, Q.; Zhou, H.," in *Third Chinese conference on intelligent visual surveillance*, Children tantrum behaviour analysis based on Kinect sensor, 2011, pp. 49-52.
- [52] D. Stanley, "Measuring attention using Microsoft Kinect," 2013.

Anexo I. Planificación del trabajo

A continuación se dispone a realizar un desglose de las tareas realizadas durante el Trabajo de Fin de Grado, así como el coste total en número de horas del mismo. Se muestran las diferentes fases recorridas así como el diagrama de Gantt, para su mejor entendimiento.

Fase 1: Documentación inicial

- I. Estudio del kit de desarrollo de Microsoft Kinect y del entorno Microsoft Visual Studio. (20 horas)
- II. Estudio del constructo de impulsividad para la elección de los tests a desarrollar. (20 horas)
- III. Preparación de las herramientas de trabajo. (3 horas)
- IV. Búsqueda y realización de tutoriales y aplicaciones sencillas. (10 horas)

Fase 2: Diseño y desarrollo del sistema

- I. Diseño de la aplicación. (10 horas)
- II. Implementación de la aplicación. (40 horas)
- III. Diseño y creación del escenario del experimento. (5 horas)

Fase 3: Pruebas

- I. Pruebas genéricas de la aplicación. (2 horas)
- II. Correcciones. (5 horas)
- III. Pruebas a población y registro de datos. (17 horas)

Fase 4: Análisis

- I. Creación del software Matlab para el análisis. (20 horas)
- II. Evaluación de los datos y obtención de resultados. (15 horas)

Fase 5: Elaboración de la memoria

- I. Estructura y elaboración de la memoria. (60 horas)
- II. Corrección y maquetación. (10 horas)

A continuación se muestra el diagrama de Gantt de las fases de este proyecto y el diagrama de Gantt de las fases desglosadas.

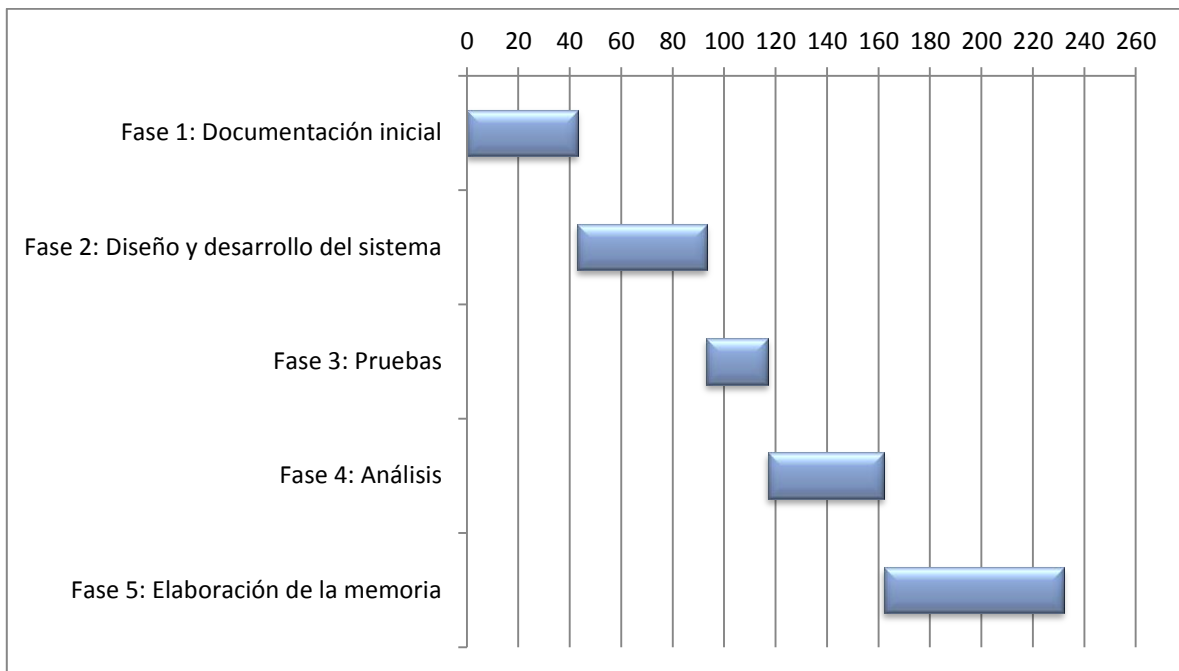


Figura 31. Diagrama de Gantt del proyecto

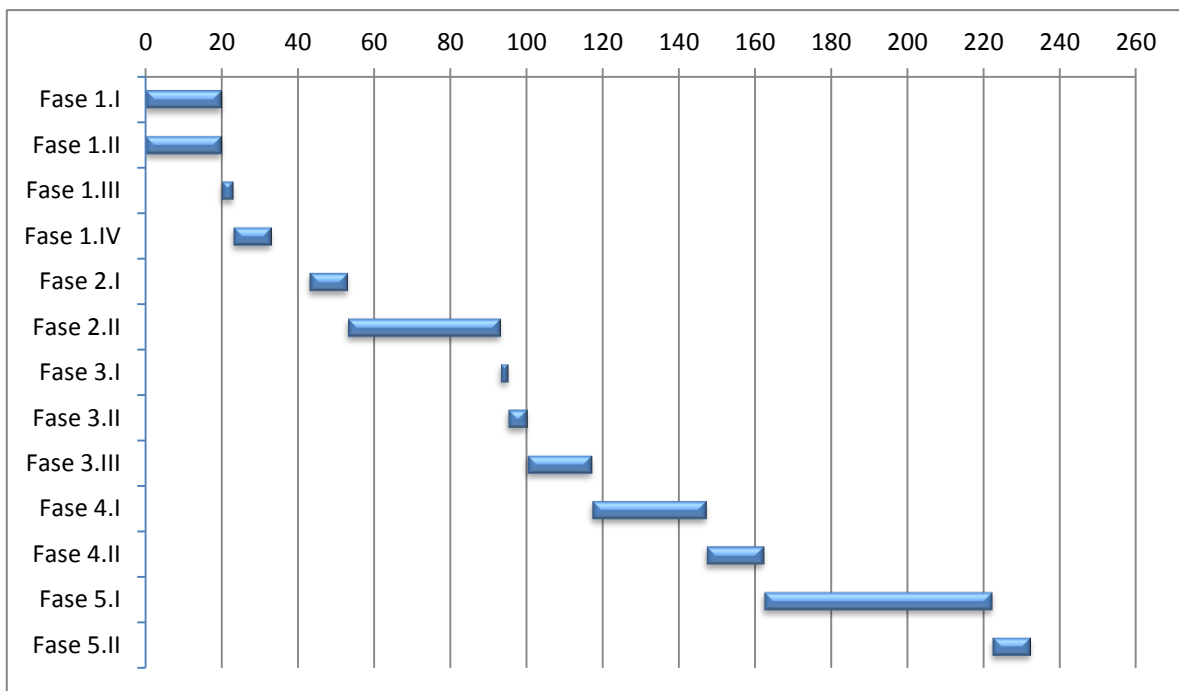


Figura 32. Diagrama de Gantt de fases desglosadas

Finalmente, en la siguiente tabla se muestra el coste temporal del proyecto:

Fases	Horas empleadas
Fase 1: Documentación previa	43
Fase 2: Diseño y desarrollo del sistema	50
Fase 3: Pruebas	24
Fase 4: Análisis	45
Fase 5: Elaboración de la memoria	70
TOTAL	232

Tabla 8. Coste temporal del proyecto

Anexo II. Presupuesto del proyecto

A continuación, se dispone a realizar un presupuesto con el objetivo de contabilizar los costes totales del proyecto. Para ello se definen tanto los costes materiales como los costes de personal.

Costes materiales

Se dividen los costes materiales en hardware y software.

- **Coste del material hardware**

CONCEPTO	MODELO	UNIDAD	PRECIO/UNIDAD
Ordenador	HP Pavilion 500-105es	2	580,79
Cámara Kinect	Kinect for Xbox	1	99,99
Cámara Kinect	Kinect for Windows	1	199,99
Pantalla	ACER V193B 19"	2	138
Pantalla	LG FLATRON M2362D-PC 23"	1	244,90
Ratón periférico	CHERRY	2	5,79
Teclado periférico	CHERRY	2	25,80
Impresora	HP Officejet Pro 8600	1	144,25
Teclado periférico	(Tinta, papel, bolígrafos...)		100
TOTAL			2.289,71 €

Tabla 9. Coste del material hardware

- **Coste del material software**

CONCEPTO	MODELO	UNIDAD	PRECIO/UNIDAD
Licencia Matlab	Matlab 2013A	1	12.150
Paquete de Microsoft Office 2010	Office Hogar y Pequeña empresa 2010	1	249
Sistema operativo Windows	Windows 7 Home Premium	1	199,99
TOTAL			12.498,99 €

Tabla 10. Coste del material software

Costes de personal

Para la elaboración de este proyecto ha sido necesario el trabajo de un jefe de proyecto, así como el trabajo de un ingeniero.

OCUPACIÓN	HORAS	PRECIO/HORA	IMPORTE (€)
Jefe de proyecto	30	90	2.700
Ingeniero	232	60	13.920
TOTAL			16.620

Tabla 11. Coste de personal

Costes totales

COSTES	IMPORTE (€)
Costes en material hardware	2.289,71
Costes en material software	12.498,99
Costes de personal	16.620
TOTAL (sin I.V.A)	31.408,7
I.V.A (21 %)	6.595,83
TOTAL	38.004,53

Tabla 12. Costes totales del proyecto

El coste total del proyecto es de **TREINTA Y OCHO MIL CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y TRES CÉNTIMOS**.

Leganés, 23 de Febrero de 2014

El ingeniero

Anexo III. Código Matlab para el análisis

PARTE 1: CODIGO EN EL SCRIPT PRINCIPAL

Asume que los datos se encuentran en la variable data.

%1. Fijar parámetros y restricciones

%%

n=10;

%Punto de inicio de la optimización

P0=[min(data),1, max(data), (length(data)-1)/4, 3*(length(data)-1)/4,
length(data),min(data)];

%Cota inferior de cada parámetro

LB=[min(data)-n, 1, max(data)-n, 1,1,1,min(data)-n];

%Cota superior de cada parámetro

UB=[min(data)+n, length(data), max(data)+n, length(data), length(data),
length(data),min(data)+n];

%Restricciones que aseguran que $P1 < P2 < P3 < P4 < P5$

A=[0 1 0 -1 0 0 0; 0 0 0 1 -1 0 0; 0 0 0 0 1 -1 0];

B=[-0.1 -0.1 -0.1];

%2. Llamada al solver

%%

[solucion FVAL(i)]= fmincon(@ (x) mirectav2(data,x), P0,A,B', [], [], LB,UB);

PARTE 2: Función a optimizar

```
function error=mirectav2(datos,x)

error = 0;

X = 1:length(datos);

%Linea 1
%-----

constanteabajo1 = x(1);
corte1 = x(2);

auxcorte1 = find(X<=corte1);

if(length(auxcorte1) > 0)
error = error + sum((constanteabajo1 - datos(auxcorte1)).^2);
end

% Linea 2
%-----

constantearriba = x(3);
corte2=x(4);

%

P1=[corte1,constanteabajo1];
P2=[corte2,constantearriba];

pendiente1=(P2(2)-P1(2))/(P2(1)-P1(1));

ordenada1 = P1(2)-pendiente1*P1(1);

auxcorte2 = find(X>corte1 & X <=corte2);

if(length(auxcorte2) > 0)
```

```

error = error + sum( ((pendiente1*X(auxcorte2) + ordenada1)' -
datos(auxcorte2)).^2 );

end

% Linea 3
%-----

corte3=x(5);

auxcorte3 = find(X>corte2 & X<=corte3);

if(length(auxcorte3) > 0)
error = error + sum( ( constantearriba- datos(auxcorte3)).^2 );
end

% Linea 4
%-----

corte4=x(6);
constanteabajo2 = x(7);

P3=[corte3,constantearriba];
P4=[corte4,constanteabajo2];
pendiente2=(P4(2)-P3(2))/(P4(1)-P3(1));
ordenada2 = P3(2)-pendiente2*P3(1);

auxcorte4 = find(X>corte3 & X<=corte4);

if(length(auxcorte4) > 0)
error = error + sum( ((pendiente2*X(auxcorte4) + ordenada2)' -
datos(auxcorte4)).^2 );

```

```
end
```

```
%Linea 5
```

```
%-----
```

```
auxcorte5 = find(X>corte4 );
```

```
if(length(auxcorte5) > 0)
```

```
error = error + sum( ( constanteabajo2- datos(auxcorte5)).^2 );
```

```
end
```


Anexo IV. Consentimiento informado

Yo _____, con DNI _____, acepto participar de forma voluntaria en el estudio “Evaluación cognitiva mediante Kinect”, llevado a cabo por el Departamento de Estadística de la Universidad Carlos III de Madrid, cuyo objetivo consiste en evaluar las posibles mejoras que aporta la implementación de tests cognitivos mediante Kinect en relación a los tests clásicos de atención. Dicha participación consistirá en la cumplimentación de una batería de cuestionarios, junto con la realización de una serie de tareas en condiciones de laboratorio, que se desarrollarán a lo largo de una sesión.

He sido informado/a correctamente del contenido y procedimiento de estas pruebas y de que no constituyen riesgo alguno para mi salud. Declaro que he podido hacer las preguntas necesarias, que he comprendido la información facilitada y estoy de acuerdo en participar en dicho estudio.

Manifiesto haber sido informado/a correctamente de los objetivos del proyecto al cual presto mi colaboración. En el caso de no ser apropiado para mis intereses puedo abandonar el estudio en cualquier momento, sin perjuicio alguno para mí.

Igualmente, conocedor/a de los procedimientos de investigación, autorizo la publicación de los resultados con fines propios de la investigación, sabiendo que en todo momento se omitirá mi identidad y cualquier dato personal que pueda facilitar que se me identifique, siendo disociados los datos personales obtenidos mediante códigos.

La recogida, procesado y análisis de las muestras se realizará en la Universidad Carlos III de Madrid. Los datos obtenidos serán almacenados durante el tiempo necesario para la realización de los análisis indicados en el presente estudio. Los datos anonimizados podrán ser cedidos a otros investigadores, que podrán realizar nuevos análisis. Carlos Carmona Vázquez y David Delgado

Gómez asumen la responsabilidad de la adopción de las medidas de seguridad de índole técnica y organizativa para proteger la confidencialidad e integridad de la información, de acuerdo con lo establecido en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, y demás legislación aplicable, autorizando el interesado con la firma del presente documento el referido tratamiento de sus datos, pudiendo ejercitar los derechos de acceso, rectificación, oposición y cancelación previstos en la referida Ley.

Para que así conste firmo la presente en Leganés a _____ de _____ de 20 ____.

Fdo. El participante

Fdo. El investigador

Anexo V. Artículo Kinectizing Conner's CPT

Transactions on Computer-Human Interaction



Transactions on
Computer-Human Interaction

Kinectizing Conner's CPT

Journal:	Transactions on Computer-Human Interaction
Manuscript ID:	TOCHI-2013-0171
Manuscript Type:	Physiological Computing Special Issue Submission
Date Submitted by the Author:	24-Dec-2013
Complete List of Authors:	Carmona-Vazquez, Carlos; Universidad Carlos III, Telecommunication Delgado-Gomez, David; Universidad Carlos III, Statistics Bayona, Sofia; Universidad Rey Juan Carlos, Computer Science Arday-Cuadros, Juan; Universidad Rey Juan Carlos, Psychology Aquado, David; Universidad Autónoma de Madrid, Institute of Knowledge Engineering Baca-Garcia, Enrique; Fundacion Jimenez Diaz Hospital, Psychiatry
Computing Classification Systems:	Human computer interaction (HCI), Empirical studies in HCI

SCHOLARONE™
Manuscripts

Kinectizing Conner's CPT

Carlos Carmona-Vazquez, Universidad Carlos III, Faculty of Telecommunications
David Delgado-Gomez, Universidad Carlos III, Department of Statistics
Sofia Beriso, Universidad Rey Juan Carlos, Department of Computer Science
Juan Ardoy-Cuadros, Universidad Rey Juan Carlos, Department of Psychology
David Aguado, Institute of Knowledge Engineering
Enrique Baca-Garcia, Fundacion Jimenez Diaz Hospital, Department of Psychiatry

Conners' Continuous Performance Test (CPT) is a widely used computerized test to assess impulsiveness. This article proposes to "kinectize" the CPT to obtain more accurate measurements of impulsiveness. To this end, the subjects react to stimuli by raising their dominant hand instead of pressing keyboard's spacebar. Tracking the dominant hand allows to detect actions that are not identifiable in the standard CPT, e.g. cases where the subject starts the action but backs-up before hitting the spacebar. By identifying this kind of actions, it is obtained a correlation between the number of commissions and the score in the Barrat's impulsiveness scale (BIS-11), significantly higher than the one obtained with the keyboard. Moreover, the correlation with the Hit Reaction Time is similar to the one obtained by the CPT. These results reveal this approach as a promising technique to obtain accurate measures to characterize different mental conditions.

Additional Key Words and Phrases: Kinect, CPT, Barrat Impulsiveness Scale

1. INTRODUCTION

Unlike physiological conditions, where there exist biological tests to identify the disease, the diagnose of mental conditions is, to a large extent, subjective. Most professionals in clinical psychology and psychiatry base their clinical diagnose, mainly, on their experience, knowledge and analytical skills. This subjectivity produces discrepancies between practitioners and causes diagnose variations along the patient's clinical history, particularly in early stages of the treatment. For example, Baca-Garcia et al. [Baca-Garcia et al. 2007] showed that there is only a 29% consistency in the diagnose of personality disorders during the 10 first visits of the patient, and that the most consistent diagnose, schizophrenia, only attained 70% of consistency. Moreover, diagnose consistency in outpatients clinics, where most patients are treated, is below the one observed in emergencies. Consequently, the beginning of an appropriate treatment is delayed, and the follow-up of patients with mental disorders is more difficult.

With the aim of obtaining a more accurate diagnose, practitioners often use assessment questionnaires, which provide information on certain characteristics of the patient, namely, impulsiveness, depression, aggressiveness, or suicidal behavior. Unfortunately those questionnaires show important weaknesses. Firstly, the application of the questionnaire is not always consequent with the original aim with which it was created. For instance, the Holmes-Rahe scale was created in order to measure the risk of developing a condition given the stress level of the subject, but it is frequently used to evaluate risk of suicidal attempts. In a recent article, it has been observed that modifying the original weights assigned to the different items in this scale, allows the practitioner to distinguish, with 5% more precision, patients with previous suicidal attempts against healthy controls [Blasco-Fontecilla et al. 2012]. The second disadvantage is the doubtful truthfulness of the patient's answers. For example, some patients admitted because of suicidal risk tend to choose answers that show an improvement in their state in order to be discharged and consummate the suicide [Simon and Guthrie 2009]. It has also been observed that 22% of adults with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) tend to provide worst answers in

ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 1, No. 1, Article A, Publication date: January 2013.

A.2

Carmona et al.

order to get access to stimulant drugs [Marshall et al. 2010].

For these reasons, along the last few decades, computer based tests orientated to obtain reliable indicators of the above mentioned constructs have been developed, based on the subjects' behaviors rather than on their answers. One the most popular is Conner's Continuous Performance Test (CPT). This test allows to quantify various explicative variables which are frequently used for characterizing impulsiveness [Conners 2000] and, therefore, are markers of many mental conditions, such as ADHD [Epstein et al. 2003] and with the risk of suicidal tendency in teenagers [Horesh 2001].

2. BIBLIOGRAPHY REVIEW

Analysis of depth/rgb images is a relatively new area of research. This can be noticed in the fact that, for instance, Microsoft Kinect sensor© was released only on November of 2010, and the Kinect for Windows SDK was not released until June 2011. However, despite of being a relatively new area of research, this has become a very active field. Several databases [Fothergill et al. 2012; Sturm et al. 2012; Fanelli et al. 2012] have appeared during the last few years, together with different applications such as human detection [Xia et al. 2011], rehabilitation [Lange et al. 2011], or gesture recognition [Ren et al. 2011].

Related to this article, there are some new research works which analyze behavioral patterns. For instance, Qiu & Helbig [Qiu and Helbig 2012] analyzed an individual's body position depending on the mental load of four different tasks. Yu et al. [Yu et al. 2011] suggested the possibility of detecting abnormal behaviors in children. They showed that, using Kinect, it is possible to identify the actions of hitting, ignoring, asking and crying. Recently, Stanley [Stanley 2013] associated the attention levels of a group, when performing several computerized tasks, to the physical and facial gestures shown during the performance. For this author, the combination of joint body and face tracking from the Kinect offers a comprehensive description of behavioral factors. Tracking the subject's position and detecting when the subject is looking at the target, is found to be a straightforward calculation and direct measurement of attention.

Notwithstanding these works analyze the behavior of the person during the test performance, our work is, to our knowledge, the first attempt that changes the way that a well established test is performed. The next section presents the set up of a pioneer study, where the reaction of the individual to certain stimulus is given, not by pressing the keyboard's spacebar, but by registering the body movements.

3. METHODOLOGY

In the following lines, the standard and Kinect and versions of the CPT, the 11th version of the Barrat impulsiveness scale, and the set-up of the experiment are described.

3.1. Conners' Continuous Performance Test

The CPT is a computer based test, which lasts 14 minutes, consisting on hitting the spacebar each time that a letter, other than X, appears in the screen. Whenever the X-stimulus appears, the subject is expected to inhibit the hitting action. The CPT

ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 1, No. 1, Article A, Publication date: January 2013.

Kinectizing Conner's CPT

A:3

presents 360 letters with an interval of 1, 2, or 4 seconds between characters. It quantifies various explanatory variables, among them, hitting reaction times (HRT) and the number of commission errors are the most frequently computed. These two measures are often used for characterizing impulsiveness [Conners 2000] and, therefore, are markers of many mental conditions.

3.2. Kinect CPT

In this article, a Kinect version of the CPT is proposed. The task is exactly the same as described in the previous paragraph. However, instead of hitting the spacebar, the subjects must raise their dominant hand. Although, at a first sight, this modification could appear minor, it is aimed to capture the events in which when the examinees starts the action of lifting their hand, but inhibit and do not complete the action. This event cannot be detected when the test is performed with a keyboard.

3.3. The Barrat Impulsiveness Scale

The 11th version of the Barrat Impulsiveness Scale (BIS-11) is a 30-items self-report scale, with each item scored from 1 (rarely/never) to 4 (almost always/always). This scale is widely used in the study of impulsiveness [Stanford et al. 2009]. In this article, the Spanish version of the BIS-11 [Oquendo et al. 2001] is used to evaluate the performance of the Kinect test with respect to the standard keyboard version.

3.4. Sample and Set-up.

In order to evaluate the proposed method, a sample of 22 subjects conducted the CPT twice, in both the traditional keyboard and the proposed Kinect versions. The mean age was 24.7 with a standard deviation of 4.05. There was a 63% of males.

To prevent the subjects memorizing the stimuli sequence from the first test, and therefore obtaining a better performance in the second one, two versions of CPT were randomly generated using *The Psychology Experiment Building Language* [Mueller and Piper 2013]. The assignation of these two tests either to the Kinect or to the keyboard was counterbalanced, i.e. a group of 11 subjects performed the first version of the test with the keyboard and the second with the Kinect and the other way around for the remaining subjects. The order in which the devices were used to perform the tests was changed for each subsequent subject, alternating Kinect/keyboard and viceversa.

For each subject, the position of the dominant hand -in screen coordinates- during each of the experiment instances, the arrival time of the stimulus, the stimulus type, and the BIS-11 score, were recorded.

4. RESULTS

Figure 1 shows the position of the dominant hand of one of the individuals for 15 stimuli during the CPT Kinect. The X-axis represents time and the Y-axis the height of the hand in screen coordinates. If the stimulus is a X-stimulus (do not raise the hand), the plot is displayed in dashed line (and red color), otherwise it is displayed in solid line (and blue color). The time in which the stimulus appears is represented with a black vertical dotted line. In this figure, three different kinds of behavior can be appreciated to occur during the three X-stimuli (E3, E9 and E13). The examinee

ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 1, No. 1, Article A, Publication date: January 2013.

A:4

Carmona et al.

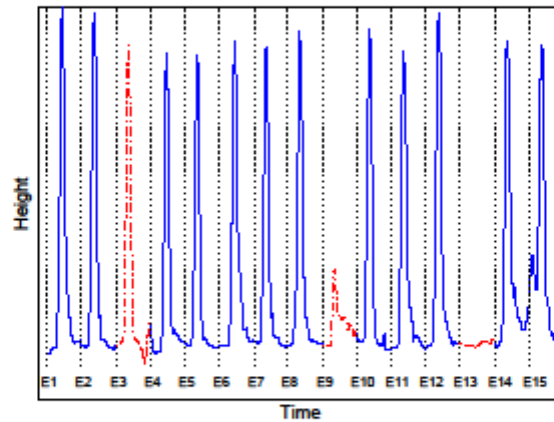


Fig. 1. Time series of the dominant hand position.

clearly incurs in a commission during the first of these stimulus and correctly inhibits the action in the last one. In the second stimulus, the individual starts the action but then it realizes that it is an X-stimulus and rapidly returns the hand to its original position. This reaction cannot be captured with the traditional test and, as it will be shown later, its recording will provide extra information to obtain a better characterization of the individual's impulsiveness.

Figure 2 shows the movements of the dominant hand of two of the individuals during all the X-stimuli. With the objective of providing a better insight, the movement during the previous and posterior non X-stimuli are also displayed. The movements in (A) correspond to one of the subjects who obtained one of the lowest scores in the BIS-11, while the ones in (B) were performed by an individual with a high BIS-11 score. It can be observed that the individual with lower impulsiveness commits a smaller number of commissions. However, to formally determine when an individual will commit a commission it is necessary to fix a threshold.

With this aim the following index was defined:

$$I(n) = (H_X - h_x) / (M - h_x) \quad (1)$$

where h_x is the height of the hand at the instant when the n -th stimulus appears; H_X is the maximum height that the hand reached between the beginning of the X-stimulus and the beginning of the following one; and M represents the maximum height attained during either the previous or the posterior stimulus.

Figure 3 displays the indices of the stimuli shown in the previous figure. It can be noticed that the individual with the highest score presents larger indices. In order to determine which stimuli correspond to commissions, it is assumed that the indices can be grouped in two classes: those corresponding to a significantly raise of the hand, and those showing a certain level of inhibition in the individual's movement.

Table I. Correlations between BIS-11, keyboard and Kinect's commissions and HRT.

	Kinect/BIS-11	Keyboard/BIS-11	Kinect/Keyboard
Commissions	0.3139	0.2170	0.4306
HRT	-0.4689	-0.4647	0.7101

Using this assumption, the distribution of the indices is fitted to a mixture of two Gaussian distributions. The estimations follow a $N(0.05, 0.002^2)$ and $N(0.51, 0.08^2)$, with mixing weights of 0.40 and 0.60, respectively. The threshold was automatically fixed at 0.1356, the value that better statistically separates both groups. Any registry above this value will be considered as a commission.

Regarding the reaction time, this was calculated as the elapsed time between the appearance of the stimulus and the beginning of the reaction. This point can be automatically selected using gradient descent and fitting a plateau type function determined by seven parameters: two of them corresponding to the laps where the hand is at rest before and after reacting to the stimulus, one more corresponding to the lap where the hand reaches its maximum height during the response time; and four corresponding to the instants when the movement starts or finishes. Figure 4 shows the curve fitted to one of the responses to an stimulus. The length of the curve between the origin, which corresponds to the beginning of the stimulus, and the star, is the reaction time. Notice that the first corner in the fitted graph does not necessarily correspond to the beginning of the subject's reaction, making it necessary to adjust the starting point to the actual curve.

As it was previously explained, the time separation between stimuli was the same for both devices: Kinect and keyboard. Even though this was necessary for direct comparison purposes, it can constitute an inconvenience, as when the test is performed with the keyboard and the time between stimuli is only one second, the subject still has time to completely go back to his original position (fingers without pressing the keyboard); whereas, when using Kinect, this time may not be enough to allow the individual to return to the rest position. In order to deal with this issue, the records where the individual had not return to the rest position before the new stimulus, were not considered for the Kinect's response time calculation.

Table I shows the correlations between the BIS-11 scores and the commissions and HRT's obtained for each of the techniques. Additionally, the correlation between both techniques regarding these two variables are included. Regarding the number of commissions, it can be seen that the main assumption of the article is fulfilled: the Kinect is better at capturing impulsiveness than the classical keyboard method. These correlations are similar for the HRT's. Therefore, the proposed method allows to improve the commission measures without worsening the measurement of other variables.

5. CONCLUSIONS

In this article, an innovative implementation of the widely used CPT has been proposed. It has been shown that the proposed version is able of capturing certain actions which allows obtaining more precise measurements of impulsiveness. However, it has also been shown that it is necessary to further investigate certain aspects, as the time separation between stimuli. It has been observed that, although a separation lap of one second is enough in the standard CPT to press and release the spacebar, in some

A:6

Carmona et al.

cases of the Kinect version it is not possible to raise the hand and to return it to its original position during this time. Additionally, the proposed technique opens new research lines. For instance, the conducted study considered solely measurements that already exist for the classical test, only for comparison purposes. However, new measurements such as the analysis of movements of other body parts or the degrees of inclination could also be informative. Moreover, this article has exclusively focused on the CPT but there are other many tests that can be kinectized such as the Stroop, or even new tests could be developed. Results of these future studies can provide better characterization of mental conditions. A last point, worth emphasizing, is that the low cost of this camera together with the possibility of automatically calculate these measurements allow a feasible implementation in medical centers or even being used for distance follow-ups.

ACKNOWLEDGMENTS

S. Bayona thanks the FP7 Marie Curie Actions for the Intra European Fellowship (grant PIEF-GA-2009-236642).

REFERENCES

- E. Baca-Garcia, M. M. Perez-Rodriguez, I. Basurto Villamor, A. L. Fernandez del Moral, M. A. Jimenez-Arriero, J. L. Gonzalez de Rivera, J. Saiz-Ruiz, and M. A. Oquendo. 2007. Diagnostic stability of psychiatric disorders in clinical practice. *British Journal of Psychiatry* 190 (2007), 210–216.
- H. Blasco-Fontecilla, D. Delgado-Gomez, T. Legido-Gil, J. Leon, M. M. Perez-Rodriguez, and E. Baca-Garcia. 2012. Can the Holmes-Rahe Social Readjustment Rating Scale (SRRS) Be Used as a Suicide Risk Scale? An Exploratory Study. *Archives of Suicide Research* 16 (2012), 13–28.
- C. K. Conners. 2000. *Conners' Continuous Performance Test II (CPT II V. 5)*. NY: Multi-Health Systems Inc., North Tonawanda.
- J. N. Epstein, A. Erkanli, Keith Conners, J. Klaric, J. E. Costello, and A. Angold. 2003. Relations Between Continuous Performance Test Performance Measures and ADHD Behaviors. *Journal of Abnormal Child Psychology* 31 (2003), 543–554.
- G. Fanelli, M. Dantone, J. Gall, A. Fossati, and L. Van Gool. 2012. Random Forests for Real Time 3D Face Analysis International. *Journal of Computer Vision* 101 (2012), 437–458.
- S. Fothergill, H. M. Mentis, P. Kohli, and S. Nowazin. 2012. Instructing people for training gestural interactive systems. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 1737–1746.
- N. Hersh. 2001. Self-report vs. computerized measures of impulsivity as a correlate of suicidal behavior. *Crisis* 22 (2001), 27–31.
- B. Lange, C. Y. Chang, E. Suma, B. Newman, A. S. Rizzo, and M. Bolas. 2011. Development and evaluation of low cost game-based balance rehabilitation tool using the Microsoft Kinect sensor. In *IEEE Int. Conf Eng. in Medicine and Biology Society*. 1831–1834.
- P. Marshall, R. Schroeder, J. O'Brien, R. Fischer, A. Ries, B. Blesi, and J. Barker. 2010. Effectiveness of symptom validity measures in identifying cognitive and behavioral symptom exaggeration in adult attention deficit hyperactivity disorder. *The Clinical Neuropsychologist* 24 (2010), 1204–1237.
- S. T. Mueller and B. J. Piper. 2013. The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL Test Battery. *Journal of Neuroscience Methods* (2013).
- M. A. Oquendo, E. Baca-Garcia, R. Graver, M. Morales, M. Montalvan, and J. J. Mann. 2001. Spanish adaptation of the Barrat Impulsiveness Scale (BIS-11). *European Journal of Psychiatry* 15 (2001), 147–155.
- J. Qiu and R. Helbig. 2012. Body posture as an indicator of workload in mental work. *Hum Factors* 54 (2012), 626–636.
- Z. Ren, J. Meng, J. Yuan, and Z. Zhang. 2011. Robust hand gesture recognition with kinect sensor. In *Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia*. 759–760.
- R. Simon and G. Guthrie. 2009. Sudden improvement among high-risk suicidal patients: should it be trusted? *Psychiatric services* 60 (2009), 387–389.

ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 1, No. 1, Article A, Publication date: January 2013.

Kinectizing Conner's CPT

A:7

- M. S. Stanford, C. W. Mathias, D. M. Dougherty, S. L. Lake, N. E. Anderson NE, and J. H. Patton. 2009. Fifty years of the Barratt Impulsiveness Scale: An update and review. *Personality and Individual Differences* 47 (2009), 385–395.
- D. Stanley. 2013. *Measuring attention using Microsoft Kinect*. Master's thesis. Rochester Institute of Technology.
- J. Sturm, N. Engelhard, F. Endres, W. Burgard, and D. Cremers. 2012. A Benchmark for the Evaluation of RGB-D SLAM Systems. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robot Systems(IROS)*.
- L. Xia, C. C. Chen, and J. K. Aggarwal. 2011. Human detection using depth information by Kinect. In *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Workshops(CVPRW)*. 20–26.
- X. Yu, L. Wu, Q. Liu, and H. Zhou. 2011. Children tantrum behaviour analysis based on Kinect sensor. In *Third Chinese conference on intelligent visual surveillance*. 49–52.

A:8

Carmona et al.

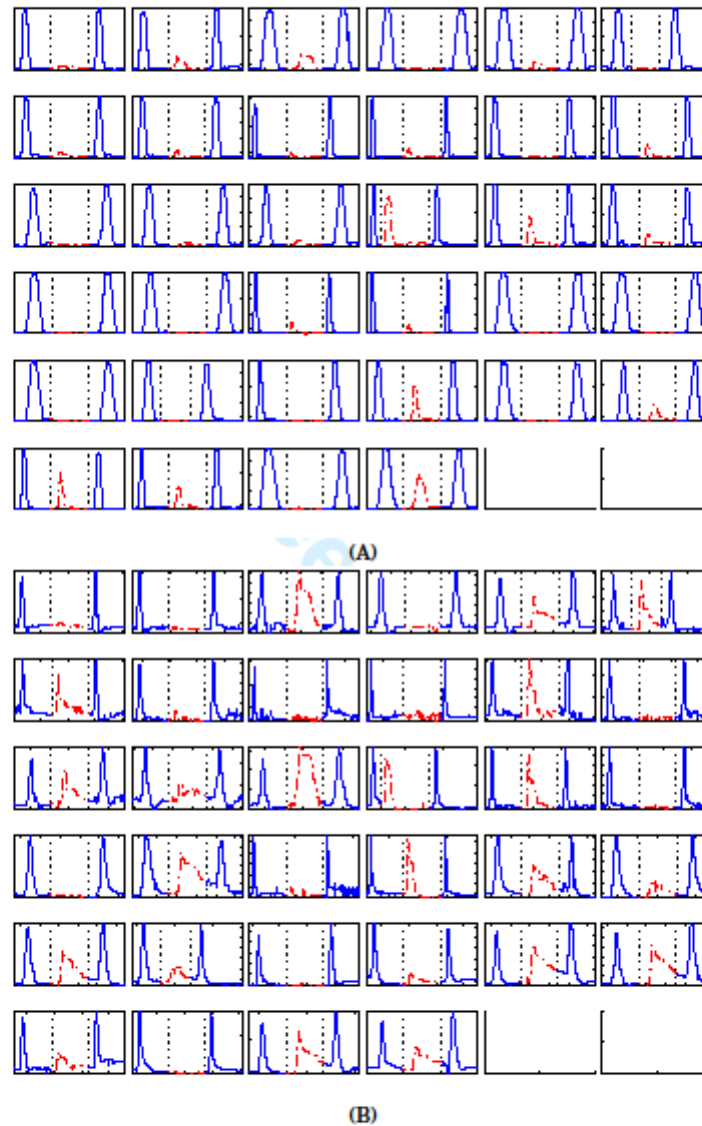


Fig. 2. Hand movement registered with Kinect to all X-stimuli in one of the tests by two of the subjects. (A) Individual with a low score in the BIS-11. (B) Individual with a high score on the BIS-11.

ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 1, No. 1, Article A, Publication date: January 2013.

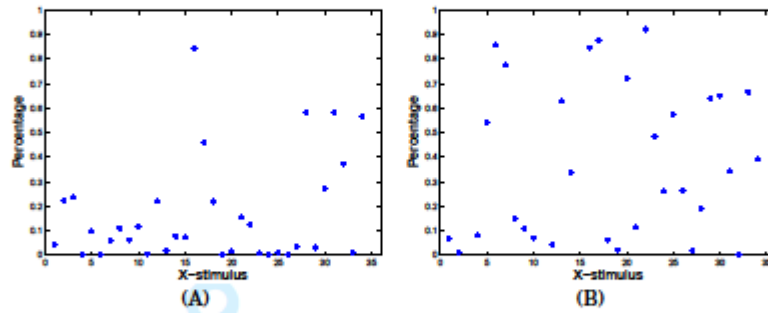


Fig. 3. Indices of the two sample subjects.

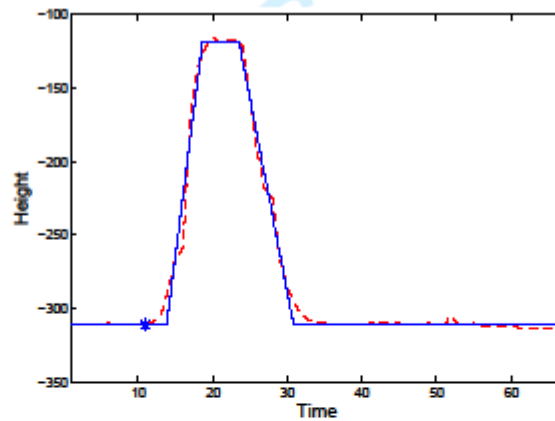


Fig. 4. Fitting of the plateau function to one non X-stimulus signal.